

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Vedran Hammer

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić, dipl. ing.

Student:

Vedran Hammer

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija te uz pomoć navedene literature.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Nedeljku Štefaniću na stručnom vođenju i savjetima tijekom izrade završnog rada.

Također se zahvaljujem asistentici dr. sc. Ani Pilipović na savjetima i pristupačnosti tijekom pisanja rada te Miodragu Kataleniću na pomoći pri izradi eksperimentalnog dijela rada.

Vedran Hammer



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **VEDRAN HAMMER**

Mat. br.: 0035181381

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **PROCESNI PRISTUP TEHNOLOGIJI 3D PRINTANJA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **PROCESS APPROACH TO 3D PRINTING TECHNOLOGY**

Opis zadatka:

U posljednjih nekoliko godina pojavile su se nove tehnologije modeliranja i proizvodnje dijelova i proizvoda poput trodimenzionalnog skeniranja, trodimenzionalnog modeliranja, trodimenzionalnog printanja (tiska) te drugih. Značajka navedenih tehnologija je da se u relativno kratkom vremenu može napraviti prototip nekog proizvoda te vrlo brzo krenuti pojedinačnom ili maloserijskom proizvodnjom. Područja primjene spomenutih tehnologija je skoro neograničeno te se može primijeniti od proizvodnje medicinske opreme pa sve do proizvodnje turane. Proizvodni proces trodimenzionalnog printanja obuhvaća razradu idejnog rješenja, konstrukciju CAD modela, pripremu 3D printera za printanje, izradu proizvoda 3D printanjem, završnu obradu te pakiranje i otpremu kupcu.

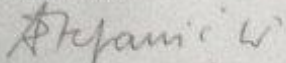
U radu je potrebno:

- Opisati procesni pristup proizvodnji
- Sistematizirati suvremene tehnologije izrade proizvoda (3D printanje, skeniranje...)
- Detaljno objasniti tehnologiju 3D printanja
- Razraditi dijagram toka procesa trodimenzionalnog printanja te postupka izrade novih proizvoda i prototipova
- Na primjeru proizvoljno odabrane familije proizvoda primijeniti tehnologiju 3D printanja i to od razvoja proizvoda pa sve do njegove proizvodnje
- Ocijeniti prednosti tehnologije 3D printanja u odnosu na klasične tehnologije izrade dijelova i proizvoda prema karakterističnim parametrima
- Procijeniti moguće pravce razvoja i primjene tehnologije 3D printanja.

Zadatak zadan:

25. studenog 2014.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Nedeljko Štefanić

Rok predaje rada:

1. rok: 26. veljače 2015.

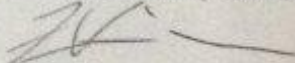
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.

2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA.....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA.....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY.....	VIII
1. UVOD.....	1
2. PROCESNI PRISTUP PROIZVODNJI.....	2
2.1. Definicija procesa	2
2.2. Procesni pristup proizvodnji.....	3
2.2.1. Proizvodna funkcija.....	4
2.2.2. Proizvodna strategij	4
2.3. Koncept, razvoj i važnost procesne orijentacije.....	5
2.4. Vrste gubitaka u poduzeću.....	7
3. SUVREMENE TEHNOLOGIJE IZRADE PROTOTIPOVA.....	9
3.1. Stereolitografija- SLA.....	10
3.2. Selektivno lasersko sraščivanje- SLS.....	12
3.3. Taložno sraščivanje- FDM.....	14
3.4. Proizvodnja laminarnih objekata- LOM.....	16
3.5. Polyjet postupak.....	17
3.6. Taljenje s pomoću snopa elektrona- EBM.....	19
3.7. Tonografski postupak- SGC.....	20

4.	3D TISKANJE- PRINTANJE- 3DP.....	22
4.1.	Materijali.....	24
4.2.	Karakteristike 3D tiskanja.....	25
4.3.	Dijagram toka procesa 3D tiskanja.....	27
4.3.1.	Slikoviti prikaz faza slojevite proizvodnje.....	30
5.	EKSPERIMENTALNI DIO.....	33
5.1.	3D printer Connex 350.....	33
5.2.	MakerBot Replicator 2X.....	35
5.3.	Postupak 3D printanja.....	36
6.	BUDUĆNOST 3D TISKANJA.....	41
6.1.	Primjena u medicini.....	43
6.2.	Primjena u zrakoplovnoj industriji.....	44
6.3.	Primjena u automobilskoj industriji.....	45
6.4.	Raznolika primjena.....	47
6.5.	Gartner.....	49
7.	ZAKLJUČAK.....	51
8.	LITERATURA.....	52

POPIS SLIKA

Slika 2.1	Prikaz procesa.....	2
Slika 2.2	Procesni pristup.....	3
Slika 2.3.	Model proizvodne strategije.....	5
Slika 2.4.	Vrste gubitaka.....	7
Slika 3.1.	Princip izrade proizvoda.....	9
Slika 3.2.	Postupak stereolitografije.....	11
Slika 3.3.	Postupak selektivnog laserskog srašćivanja.....	12
Slika 3.4.	Prototipovi dobiveni SLS-om.....	13
Slika 3.5.	Postupak taložnog srašćivanja.....	14
Slika 3.6.	Prototipovi dobiveni FDM-om.....	15
Slika 3.7.	Postupak proizvodnje laminarnih objekata.....	16
Slika 3.8.	Polyjet postupak.....	18
Slika 3.9.	Prototipovi dobiveni polyjet-om.....	18
Slika 3.10.	Taljenje pomoću snopa elektrona.....	19
Slika 3.11.	SGC postupak.....	21
Slika 3.12	Primjeri prototipova dobiveni SGC-om.....	21
Slika 4.1.	3D tiskanje.....	23
Slika 4.2.	Faze 3D tiskanja.....	23
Slika 4.3.	Primjeri prototipova s kombinacijom više boja.....	26
Slika 4.4.	Dijagram toka procesa.....	28
Slika 4.5.	CAD model.....	30
Slika 4.6.	STL model.....	30
Slika 4.7.	Rezanje STL modela.....	30
Slika 4.8.	Izrada tvorevine sloj po sloj.....	31
Slika 4.9.	Gotov proizvod spreman za korištenje.....	32
Slika 5.1.	Connex 350.....	34

Slika 5.2. MakerBot Replicator 2X.....	35
Slika 5.3. Dvostruka glava ekstrudera.....	36
Slika 5.4. 3D model gitare.....	36
Slika 5.5. Početni sloj modela.....	37
Slika 5.6. Sloj 1 modela.....	37
Slika 5.7. Sloj 2 modela.....	38
Slika 5.8. Sloj 3 modela.....	38
Slika 5.9. Završni sloj modela.....	39
Slika 5.10. Proces izrade 1.....	39
Slika 5.11. Proces izrade 2.....	40
Slika 6.1. Područje primjene prototipova.....	41
Slika 6.2. Raščlamba primjene prototipova pri razvoju i proizvodnji tvorevina.....	41
Slika 6.3. Umetak za dušnik.....	43
Slika 6.4. Borbeni avion- Tornado GR4.....	45
Slika 6.5. Mini Strati.....	46
Slika 6.6. Igračka izrađena 3D tiskanjem.....	47
Slika 6.7. Zgrada izgrađena 3D tiskanjem.....	48
Slika 6.8. Smjer razvijanja 3D tiskanja po Gartneru.....	50

POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Razlika između tradicionalnih i procesno orijentiranih poduzeća.....	6
Tablica 4.1. Tehnička svojstva tvorevina.....	25

POPIS KRATICA

KRATICA	OPIS
2D	dvodimenzionalno
3D	trodimenzionalno
3DP	trodimenzionalno tiskanje (e. 3D printing)
ABS	akrilonitril/butadien/stiren
CAD	konstruiranje pomoću računala (e. Computer Aided Design)
CMYK	cijan, magenta, žuta i crna (e. Cyan, magenta, yellow and black)
EADS	e. The European Aeronautic Defence and Space Company
EBM	taljenje s pomoću snopa elektrona (e. Electron Beam Modeling)
FDM	taložno srašćivanje (e. Fused deposition Modeling)
LOM	proizvodnja laminiranih objekata (e. Laminated Object Manufacturing)
PMMA	poli(metil-metakrilat)
PP	polipropilen
RGB	crvena, zelena, plava (e. Red, green and blue)
SGC	Tonografski postupak (e. Solid Ground Curing)
SLA	stereolitografija (e. Stereolithography)
SLS	selektivno lasersko srašćivanje (e. Selective Laser Sintering)
STL	triangulizacijska datoteka (e. Standard Tessellation Language)
UV	ultravioletno zračenje

SAŽETAK

U ovom završnom radu su opisane suvremene tehnologije izrade proizvoda. Cilj je bio pokazati procesni pristup tehnologiji 3D tiskanja. 3D tiskanje je jedan od aditivnih postupaka proizvodnje koji postaju sve jednostavniji i isplativiji za korištenje. Tvorevina se izrađuje izravno iz 3D modela u relativno kratkom vremenu pri visokoj fleksibilnosti.

3D tiskanje je budućnost proizvodnje te su je mnogi proglasili trećom industrijskom revolucijom. Iako je zastupljeno u mnogim djelatnostima, ima još puno mjesta za razvoj i napredak.

Eksperimentalni dio rada se sastoji od opisa tehnologije 3D tiskanja od razvoja proizvoda pa sve do njegove proizvodnje. Kroz karakteristične faze razvoja opisan je postupak 3D tiskanja te su faze potkrijepljene sa slikama.

Ključne riječi:

Aditivni postupci, 3D tiskanje, 3D model, faze razvoja

SUMMARY

This bachelor thesis explains modern production technology. The goal was to show process approach to 3D printing technology. 3D printing is one of the additive manufacturing processes that are becoming simpler and more cost-effective to use. Additive processes make a product directly from a 3D model, in a relatively short time at a high flexibility.

3D printing is the future of production and is often named the third industrial revolution. Although there are many activities, there is still much room for development and progress.

The experimental part of the work consists of a description of 3D printing technology from development through to its production. Through the characteristic phases of development 3D printing process is described and the phases are substantiated with pictures.

Key words:

Additive processes, 3D printing, 3D model, phases of development

1. UVOD

Aditivni proizvodni postupci, poznatiji kao 3D tiskanje su u današnje vrijeme najbolji primjer inovacije. Aditivna proizvodnja pruža raznolike mogućnosti u izradi početnoga, a najčešće i gotovog oblika proizvoda. Važno je naglasiti da ta proizvodnja nikad neće potpuno zamijeniti klasične postupke praoblikovanja.

3D tiskanje nudi mogućnost pravljenja većih tvorevina s boljom preciznošću i konačnom rezolucijom pri velikim brzinama tiskanja i pri niskim proizvodnim troškovima. Korištenjem 3D tiskanja smanjujemo ovisnost o klasičnim kalupima koji su prije svega skupi, te se snizuju troškovi njihove izrade. Također velika prednost je ta što se pomoću želje pojedinca može izraditi gotov proizvod.

Mnoge prednosti koje nudi 3D tiskanje idu u prilog da bi to moglo postati alternativa konvencionalnoj proizvodnji. Na taj način pojednostavila bi se proizvodnja, postala bi fleksibilnija, sa skraćenim vremenom razvoja i pojednostavljenim ciklusom proizvodnje. Tvrtke će također poboljšati iskoristivost materijala sa eliminacijom otpada koji se pojavljuje u klasičnoj proizvodnji. U ovom trenutku 3D tiskanje je poprilično razvijeno, ali ima još mnogo pravca u kojima se može širiti.

Primjenom postupaka aditivne proizvodnje neće se promijeniti temeljna struktura klasične proizvodnje, ali će se otvoriti široko polje mogućnosti za izradu kalupa, tvorevina, alata i ostalih stvari.

2. PROCESNI PRISTUP PROIZVODNJI

„Procesi nisu samo ono što čini poslovanje,
procesi jesu poslovanje.“

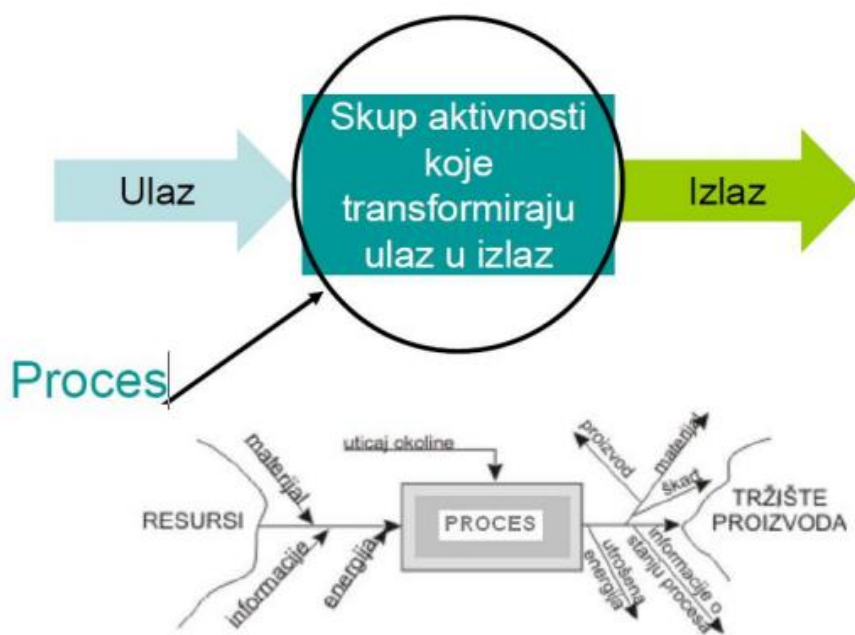
(Rob Davis, Eric Brabander)

2.1. Definicija procesa

Proces predstavlja skup aktivnosti koji se vrše na ulaznim resursima (inputima) s ciljem pretvorbe u konačne gotove proizvode. Cilj procesa je da izvršene usluge imaju veću vrijednost nego korišteni resursi. Inputi kao i outputi najčešće uključuju: informacije, materijale, opremu, energiju, rad i financijske izvore. [1]

Procesi proizvodnje su pomno dizajnirani i optimizirani, te se teži maksimalnom samanjenju svih vrsta gubitaka iz čega proilazi da se proces izgrađuje i mijenja kroz iskustvo i praksu kako bi se postigao proces u kojem je iskoristivost maksimalna.

Proces sa ulaznim i izlaznim resursima prikazano je na slici 2.1



Slika 2.1. Prikaz procesa [1]

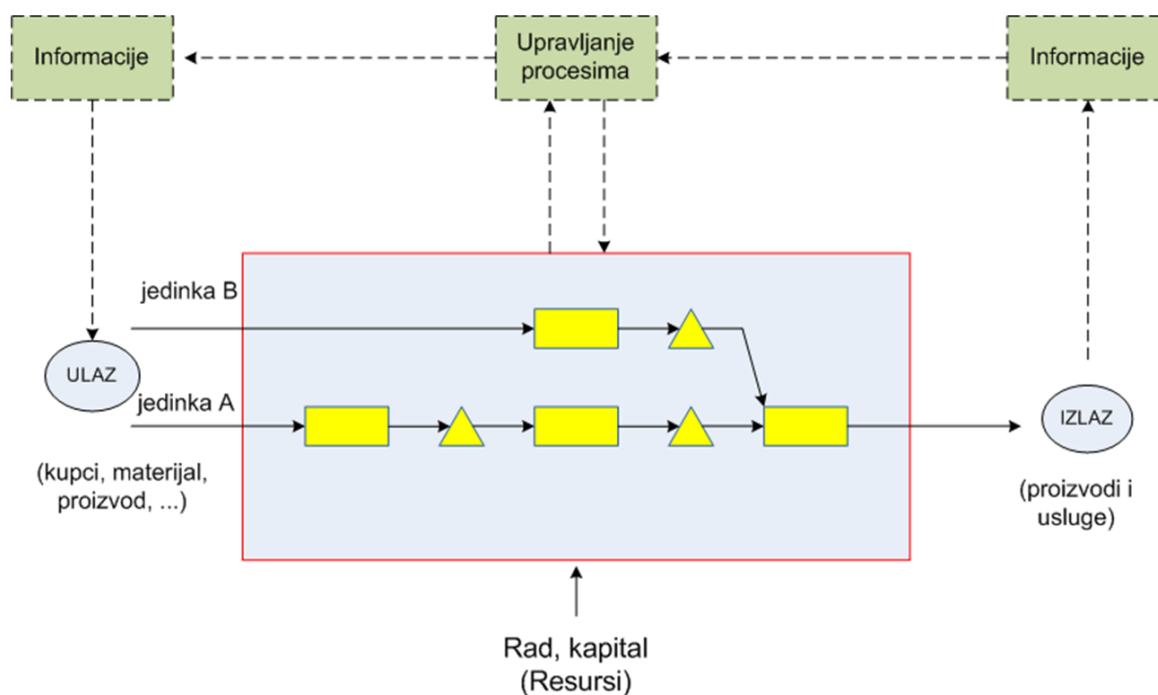
2.2 Procesni pristup proizvodnji

Glavni cilj procesnog pristupa u poduzeću je da svaki proces mora postati perfektan. Kod procesnog pristupa treba naglasiti da je naglasak na sam proces, a ne na poduzeće jer procesni pristup kvalitetnije prikazuje kako poduzeće funkcionira i koje su mu sposobnosti, te kako efikasno obavlja zadane zadaće.

Suvremeni uvjeti poslovanja: [2]

- Informacije i znanje su najvažniji resurs
- Poslovna efikasnost i djelotvornost proizvodnje je standard tržišnog natjecanja
- Poduzeća moraju biti fleksibilna, inovativna i stalno se usavršavati
- Udruživanjem poduzeća postiže se održiva konkurentnost
- Poduzeća moraju optimalno koristiti resurse te postići uštede da bi opstala

Procesni pristup u poduzeću prikazan je na slici 2.2.



Slika 2.2 Procesni pristup [2]

2.2.1. *Proizvodna funkcija*

Upravljanje proizvodnjom je studij donošenja odluka u funkciji proizvodnje i sustava koji proizvode robe i usluge. Menadžeri proizvodnje donose odluke koje se odnose na funkciju proizvodnje i korištenje transformacijskih sustava. [3]

Upravljanje proizvodnjom je definirano sa pet vrsta odgovornosti za odluke: [3]

- Kvalitetom
- Procesom
- Kapacitetom
- Zalihamama
- Radnom snagom

2.2.2. *Proizvodna strategija*

Proizvodna strategija treba definirati osnovni smjer razvoja poduzeća u svrhu ostvarenja zadanih ciljeva u određenom vremenskom periodu. Kod definiranja poslovne i proizvodne strategije potrebno je napraviti analizu unutarnje i vanjske okoline. Analiza unutarnje okoline dovodi do uočavanja prednosti i slabosti postojeće proizvodnje, dok je cilj menadžmenta proizvodnje razvijati postojeće prednosti, a prevladavati uočene slabosti. [4]

Proizvodna se strategija sastoji od: [4]

- Misije proizvodnje- definira svrhu proizvodnje
- Proizvodnih ciljeva- troškovi, kvaliteta, isporuka i fleksibilnost
- Specifične sposobnosti- predstavljaju ono čime se proizvodnja mora isticati u odnosu na konkurenciju
- Proizvodne politike- strateške odluke pomoću kojih se detaljnije odlučuje u područjima kvalitete, procesa, kapaciteta, zaliha i radne snage

Model proizvodne strategije je prikazan na slici 2.3.



Slika 2.3. Model proizvodne strategije [4]

2.3. Koncept, razvoj i važnost procesne orijentacije

Prema procesnom pogledu poslovni procesi predstavljaju jezgru funkcioniranja određene organizacije zato što se organizacija primarno sastoji od procesa, a ne proizvoda ili usluga. Kod procesno orijentiranih poduzeća usmjerenost na proces osigurava bolju usmjerenost na kupca, utvrđivanjem granica procesa te kupaca i dobavljača postiže se bolja komunikacija. S druge strane zbog orijentiranosti na poslovne funkcije tradicionalno poduzeće nema jasno definiranu sliku cijelog procesa, slabo je fokusirano na kupce, postoje nepotrebne barijere i loša komunikacija. [5]

Razlike u nekim obilježjima između tradicionalnog i procesno orijentiranog poduzeća prikazane su u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Razlika između tradicionalnih i procesno orijentiranih poduzeća [5]

OBILJEŽJA	TRADICIONALNO PODUZEĆE	PROCESNO PODUZEĆE
<i>Poslovni vidik</i>	Poslovna funkcija	Poslovni proces
<i>Organizacijska jedinica</i>	Odjel	Procesni timovi
<i>Radni zadaci, poslovi</i>	Usko definirani	Fleksibilni i opsežni
<i>Fokus djelatnika</i>	Nadređeni, rukovodioci	Kupci
<i>Naknada se temelji na</i>	Provedbi aktivnosti	Postignutim rezultatima
<i>Uloga rukovodstva</i>	Nadzor	Mentorstvo
<i>Ključna osoba</i>	Direktor odjela (poslovne funkcije)	Vlasnik poslovnog procesa
<i>Poslovna kultura</i>	Nadređenost, konflikti	Sudjelovanje, suradnja

Zbog neefikasnosti tradicionalnog pristupa, procesna orijentacija se pojavila sa svrhom kreiranja efikasne orijentacije. Ona razjašnjava prepreke i aktivnosti koje su nepotrebne i predstavlja alat za buduće promjene i unapređenja. [5]

2.4. Vrste gubitaka u poduzeću

Postoje 7 osnovnih tipova gubitaka koji se mogu primjeniti u bilo kojem poduzeću, za bilo koji proces i osnova je LEAN koncepta- poduzeće bez gubitaka. [1]

Vrste gubitaka prikazane su na slici 2.4.



Slika 2.4. Vrste gubitaka [1]

1. Prekomjerna proizvodnja: [1]
 - Stvaranje proizvoda koji se ne mogu plasirati na tržištu
 - Izvođenje operacija koje nisu neophodne
 - Stvaranje dokumentacije koju nitko ne zahtijeva
 - Loše predviđanje prodaje
 - Slanje uputa prema previše ljudi
 - Proizvodnja “za svaki slučaj“

2. Transport: [1]

- Nepotrebno kretanje materijala između operacija ili između skladišta
- Korištenje starih, neučinkovitih layouta
- Neučinkovit transport informacija
- Neuspješna komunikacija, gubitak podataka, nekompatibilnost itd.

3. Čekanje: [1]

- Vrijeme čekanja materijala između operacija
- Čekanje radnika na strojevima
- Čekanje na podatke, informacije, odluke, potpis, odobrenje i sl.
- Čekanje na isporuku

4. Prekomjerna obrada: [1]

- Predimenzionirani strojevi, kriva ili nedostajuća tehnološka oprema, pripremno-završno vrijeme, čišćenje između obrade
- Loša konstrukcija proizvoda koja zahtijeva previše koraka obrade

5. Zalihe: [1]

- Visoke zalihe povezane su sa prekomjernom proizvodnjom

6. Nepotrebni pokreti: [1]

- Loš raspored strojeva- nepotrebno gibanje radnika
- Loša ergonomija radnog mjesta
- Ljudi se trebaju micati kako bi došli do informacija
- Ručni rad kako bi se kompenzirali neki nedostaci proizvodnje

7. Škart: [1]

- Prekid toka zbog grešaka, nepotrebna vremena, troškovi i za analizu i otklanjanje
- Nepotpune, netočne, nepravodobne informacije

3. SUVREMENE TEHNOLOGIJE IZRADE PROIZVODA

Suvremeni postupci su postali najbrži i najisplativiji način za izradu raznolikih proizvoda. Glavna značajka ovih postupaka je da se u relativno kratkom vremenskom roku može izraditi prototip nekog proizvoda te se vrlo brzo može krenuti u pojedinačnu ili maloserijsku proizvodnju. Cilj svake proizvodnje je da se postignu bolja mehanička svojstva proizvoda, bolja kvaliteta i niži troškovi, a upravo je to ono što suvremeni postupci proizvodnje nude.

Područje primjene suvremenih tehnologija je gotovo neograničeno te se može primjeniti od proizvodnje igračaka pa sve do proizvodnje hrane. Tehnologija je vrlo zastupljena u automobilskoj, zrakoplovnoj te vojnoj industriji. Također veliku primjenu ima u medicinskoj industriji te se u osobne svrhe koristi pri izradi sportske opreme, ambalaže za hranu i sl.

Princip izrade proizvoda suvremenim postupcima podrazumijeva da se izradi 3D proizvod koji je sačinjen od mnogo slojeva jednakih debljina, koji se slažu jedan na drugi. Posljedica takvog slaganja slojeva jednakih debljina je stepenasti izgled površine. [6]

Princip izrade proizvoda pomoću slojeva prikazan je na slici 3.1.



a.)

b.)

Slika 3.1. Princip izrade proizvoda: a.) prikaz slaganja slojeva,
b.) prikaz 3D tvorevine [6]

Najvažniji postupci proizvodnje: [7]

- Stereolitografija (e. Stereolithography)- SLA
- Selektivno lasersko srašćivanje (e. Selective Laser Sintering)- SLS
- 3D tiskanje- printanje (e. 3D Printing)- 3DP
- Taložno srašćivanje (e. Fused Deposition Modeling)- FDM
- Proizvodnja laminiranih objekata (e. Laminated Object Manufacturing)- LOM
- Hibridni postupak 3D printanja i stereolitografije (e. Polyjet)
- Taljenje s pomoću snopa elektrona (e. Electron Beam Modeling)- EBM
- Tonografski postupak (e. Solid Ground Curing)- SGC

3.1. Stereolitografija (e. Stereolithography)- SLA

Postupak stereolitografije je proizveo Charles Hull 1986. godine. To je sustav koji može automatski izgraditi detaljne tvorevine. SLA ima četiri glavna dijela: spremnik kapljevito polimera, radna podloga koja se spušta u spremnik, UV laser i računalo koje kontrolira radnu površinu i laser. Radna podloga je smještena jedan sloj ispod vrha površine kapljevito polimera. Laser generira UV svjetlost i skenira sloj polimera iznad podloge koji očvršćuje. UV zračenje tekućinu stvrdne odmah čim ga UV laser dodiruje i tako se formira prvi sloj 3D objekta. Nakon što početni sloj očvrstne, radna površina se spušta i laser opet prati presjek objekta koji se ispisuje, te se odmah povezuje s otvrdnutim dijelom koji se nalazi ispod njega. Ovaj proces se ponavlja iznova sve dok se ne dobije konačni oblik. Objekt se vadi iz kapljevito polimera, a višak polimera se ispire u otapalu. [8]

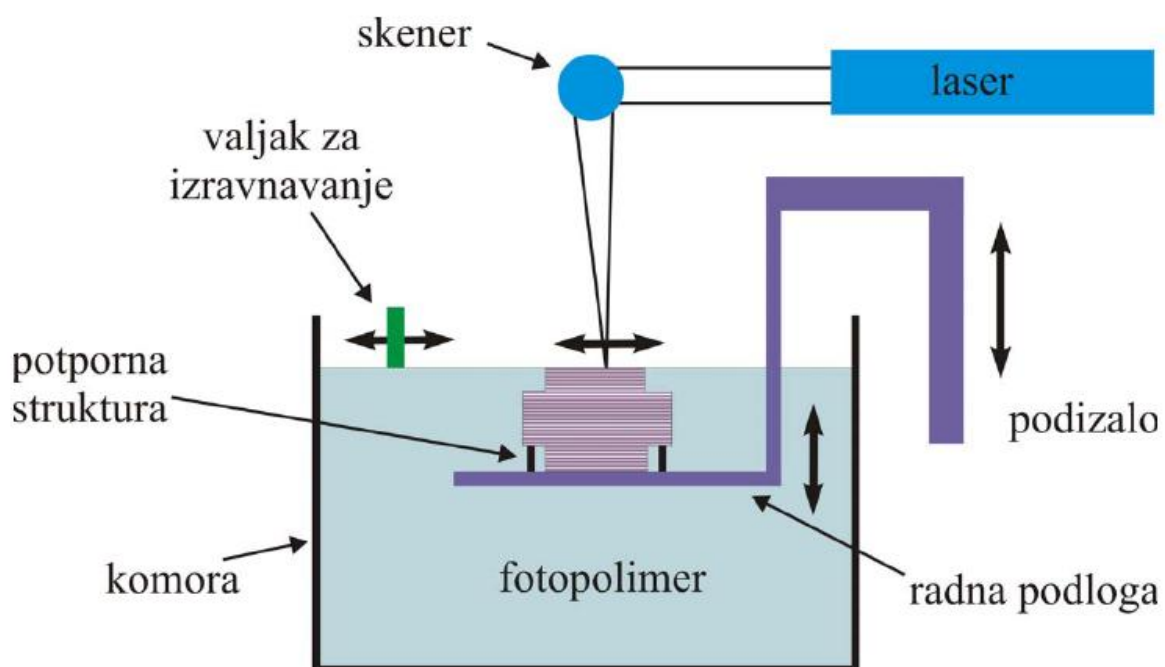
Prednosti: [7]

- SLA uređaj može raditi 24 h dnevno
- Visoka rezolucija
- Moguća izrada dvobojnih prototipova
- Nema geometrijskih ograničenja oblika
- Potpuna automatiziranost procesa

Nedostaci: [7]

- Ograničen broj upotrebljivih materijala
- Prototip slabijih mehaničkih svojstava
- Naknadna obrada
- Fotopolimer je otrovan u tekućem stanju

Postupak stereolitografije je prikazan na slici 3.2.

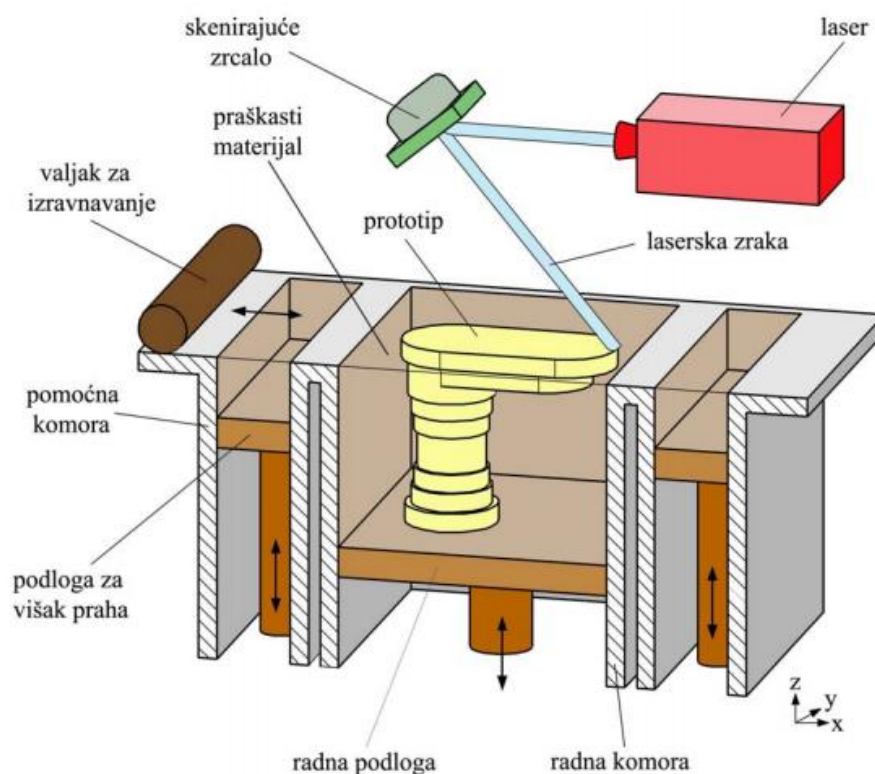


Slika 3.2. Postupak stereolitografije [9]

3.2. Selektivno lasersko sraščivanje (e. Selective Laser Sintering)- SLS

SLS je jedan od najvažnijih postupaka izrade prototipova. Radna podloga je smještena na visini koja je potrebna da se položi sloj praškastog materijala i dobije željena debljina sloja. Praškasti materijal se nanosi iz komore koja sadrži materijal za obradu, s pomoću valjka ili ravne ploče za izravnavanje. Sloj praha skenira se i grije, te dolazi do međusobnog sraščivanja čestica materijala. Radna podloga se snizuje do sloja debljine koji dopušta da se položi novi sloj praha. Novi sloj se skenira, prilagođuje slijedećem gornjem presjeku i prijanja prethodnom sloju. Nakon izrade cijelog prototipa, potrebno ga je ostaviti da se hladi do sobne temperature. [10]

Postupak selektivnog laserskog sraščivanja prikazan je na slici 3.3.



Slika 3.3 Postupak selektivnog laserskog sraščivanja [7]

Prednosti: [7]

- Postupak SLS je brži od postupaka SLA
- Moguća primjena većeg broja materijala
- Nije potreban potporanj jer višak praha podupire prototip
- Neupotrebljen prah može se koristiti za sljedeći prototip
- Mala zaostala naprezanja

Nedostaci: [7]

- Lošija kvaliteta površine u odnosu na SLA dijelove
- Pri korištenju nekih materijala potrebna je zaštitna atmosfera radi pojave otrovnih plinova tijekom srašćivanja

Primjeri prototipova dobiveni SLS postupkom prikazani su na slici 3.4.



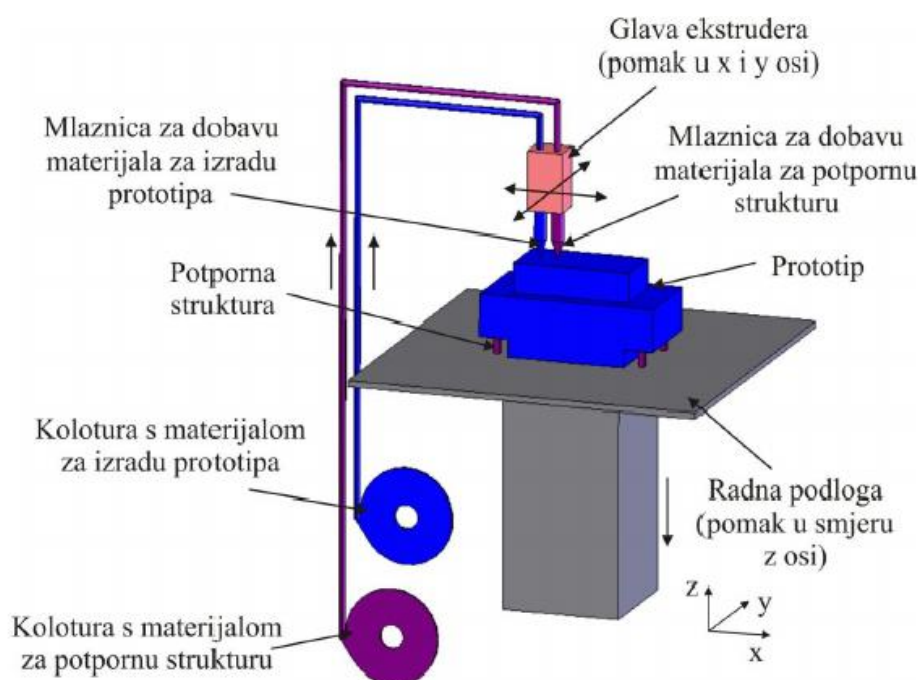
Slika 3.4. Prototipovi dobiveni SLS-om [9]

3.3 Taložno sraščivanje (e. Fused Deposition Modeling)- FDM

Taložno sraščivanje jedan je od brojnih postupaka proizvodnje. Kod FDM postupaka kao materijal upotrebljavaju se plastomeri u obliku žice koji se zagrijavaju i zatim, na taj način omekšani ekstrudiraju sloj po sloj, stvarajući 3D oblik.

FDM pisači koriste dvije vrste materijala, materijal za modeliranje i materijal za potporna strukturu. Tijekom ispisa ti materijali su u obliku plastične žice, koja se odmotava s koluta i potiskuje kroz glavu ekstrudera. Žica se u ekstruderu zagrijava i omekšava te potiskuje kroz mlaznicu kojom se niti nanose na radnu podlogu. Obje mlaznice kontrolira računalo koje prevodi dimenzije tvorevine u koordinate kojim se orijentira mlaznica. Izrađeni slojevi su toliko tanki da se istovremeno hlade i stvrđnu te se tako vežu na prethodni sloj. [11]

Postupak taložnog sraščivanja je prikazan na slici 3.5.



Slika 3.5. Postupak taložnog sraščivanja [10]

Prednosti: [7]

- Manja potrošnja energije
- Ne koristi se laserski snop
- Jednostavna primjena, nema posebnih zahtjeva za ventilacijom i hlađenjem
- Relativno mala investicija u uređaj, niski troškovi održavanja
- Mogućnost izrade više prototipova istovremeno

Nedostaci: [7]

- Ograničen broj primjenjivih materijala
- Vidljive su linije između slojeva
- Niža čvrstoća prototipa u smjeru okomitom na smjer izrade
- Oscilacije temperature tijekom izrade mogu uzrokovati raslojavanje prototipa

Primjeri prototipova dobiveni FDM postupkom prikazani su na slici 3.6.

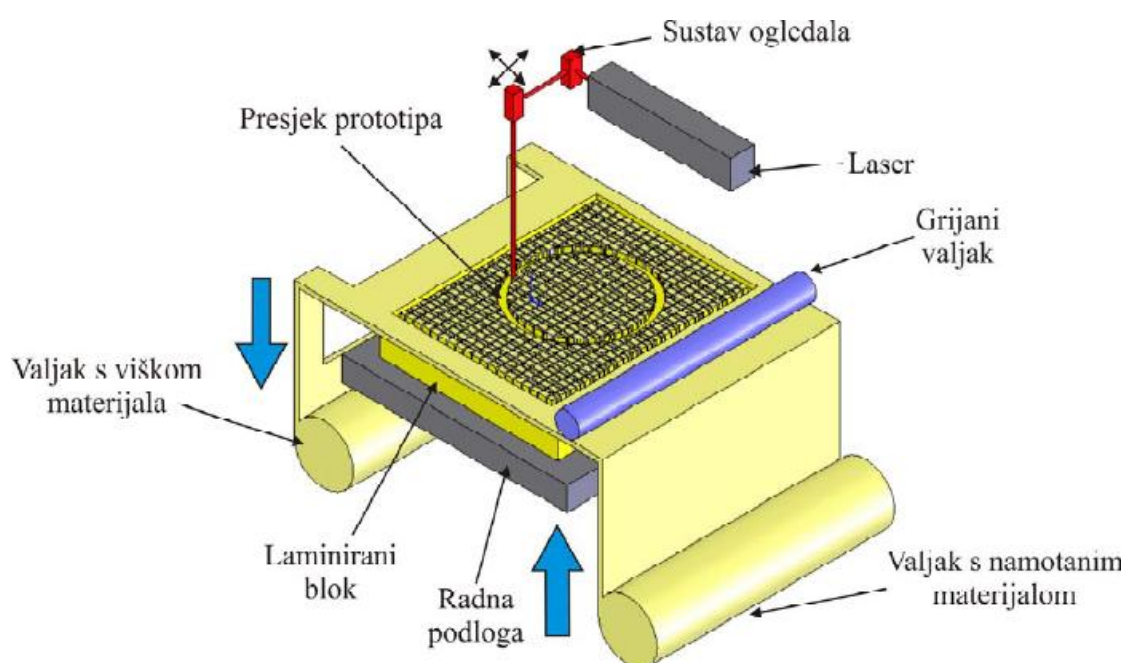


Slika 3.6. Prototipovi dobiveni FDM-om [12]

3.4. Produkcija laminiranih objekata (e. Laminated Object Manufacturing)- LOM

Produkcija laminiranih objekata je metoda 3D ispisa. Tijekom procesa LOM-a, slojevi plastike ili papira su sjedinjeni ili laminirani zajedno, upotrebom topline i tlaka. Nakon toga se režu u željeni oblik s računalno upravljanim laserom. Iako LOM nije najpopularnija metoda 3D ispisa, svakako je jedna od najbržih i najpristupačnijih metoda. [13]

Postupak proizvodnje laminarnih objekata prikazan je na slici 3.7.



Slika 3.7. Postupak proizvodnje laminarnih objekata [9]

Prednosti: [7]

- Niža cijena u odnosu na ostale postupke izrade
- Mogućnost proizvodnje velikih dijelova
- Relativno velika brzina postupaka
- Nije potreban potporanj izratka
- Nema pojave zaostalih naprezanja u prototipu

Nedostaci: [7]

- Nešto manja točnost nego kod ostalih postupaka
- Nužno je lakiranje prototipa da bi se izbjeglo upijanje vlage i time promjena dimenzija
- Traženu višu kvalitetu treba postići dodatnom završnom obradom
- Velik dio otpadnog materijala

3.5. Polyjet postupak

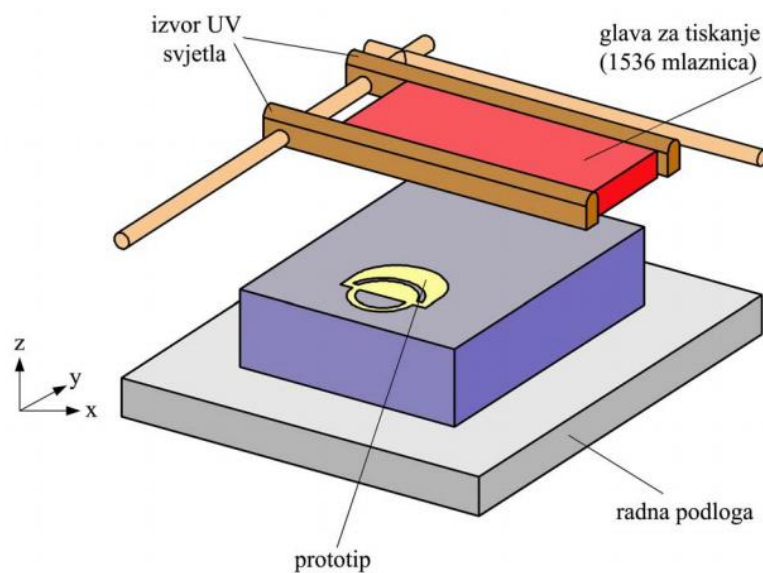
Polyjet postupak sjedinjuje dobre strane stereolitografije i 3D tiskanja. Mreža mlaznica kliže naprijed - nazad i nanosi sloj fotoosjetljivog polimernog materijala na radnu površinu. Svaki sloj fotoosjetljivog polimera očvršćuje pod djelovanjem UV svjetlosti, odmah nakon tiskanja. Primjenjuju se dva različita materijala: jedan za model, a drugi kao potporna struktura. Nakon završenog prvog sloja, radna podloga spušta se za debljinu sljedećeg sloja i glava za tiskanje započinje izradu tog sljedećeg sloja. Nakon izrade prototipa potporna struktura se lako uklanja sa vodom. [10]

Prednosti: [10]

- Visoka kvaliteta
- Mogućnost izrade sitnih detalja i tankih stjenki
- Postupak je brz
- Nije potrebno naknadno umreživanje
- Moguće je upotrebljavati različite materijale

Materijali koji se primjenjuju u Polyjet postupku su: fotopolimerni akrilni materijali FullCure 720, VeroBlue, VeroWhite, VeroGray, VeroBlack, DurusWhite, Digital ABS, elastični TangoPlus, TangoBlackPlus, TangoGray i TangoBlack materijali. [12]

Polyjet postupak je prikazan na slici 3.8.



Slika 3.8. Polyjet postupak [7]

Primjeri prototipova dobiveni Polyjet postupkom prikazani su na slici 3.9.



Slika 3.9. Prototipovi dobiveni polyjet-om [9]

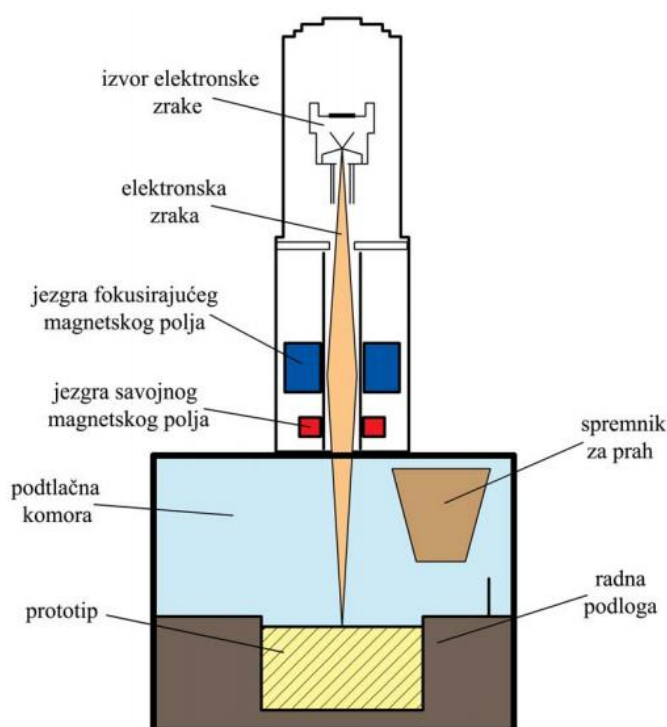
3.6. Taljenje s pomoću snopa elektrona (e. Electron Beam Modeling)- EBM

EBM je postupak gdje se pomoću toplinske energije tali prah u zagrijanoj komori. Snop elektrona usmjerava se na prethodno zagrijani, praškasti materijal u komori koji se pod utjecajem visoke temperature tali u potpunosti.

Karakteristike postupka: [7]

- Visoka iskoristivost energije
- Visoka temperatura izgradnje
- Sposobnost da se postigne velika snaga
- Niski troškovi rada
- Kvaliteta taljenja uklanja nečistoće

Taljenje pomoću snopa elektrona je prikazan na slici 3.10.



Slika 3.10. Taljenje pomoću snopa elektrona [7]

3.7. Tonografski postupak (e. Solid Ground Curing)- SGC

Tonografski postupak predstavlja kombinaciju aditivnog i subtraktivnog laserskog postupka pri proizvodnji prototipova. Prototipovi se prave od fotopolimera slično kao i pri SLA postupku. Pri SGC postupku, rabi se maska preko koje se UV izvoru svjetla izlaže čitav sloj odjednom. Postupak generiranja maske temelji se na načelima elektrofotografije. Postupak se odvija u dva koraka: generiranje maske i proizvodnja sloja prototipa. [14]

Maska se selektivno elektrostatski nabija i prevlači tonerom. Rezultat je fotografska maska koja se sastoji od prozirnih i neprozirnih površina koje definiraju sljedeći sloj prototipa. Zatim se tanki sloj fotopolimera raspoređuje na radnu površinu. Maska se postavlja iznad fotopolimera, koji se kroz masku izlaže djelovanju izvora UV svjetlosti s pomoću koje sloj, tamo gdje je osvijetljen, očvršćuje. Slijedi čišćenje fotografske maske, a neosvijetljeni fotopolimer se uklanja s radne površine. Na radnu površinu se nakon toga nanosi fini sloj voska, te i vosak očvršćuje. Konačno se radna površina obrađuje glodanjem kako bi se postigla planparalelnost slojeva. Postupak se ponavlja sve do završetka pravljenja posljednjeg sloja. Nakon završetka proizvodnjem, prototipa vosak se skida s modela pomoću limunske kiseline. [14]

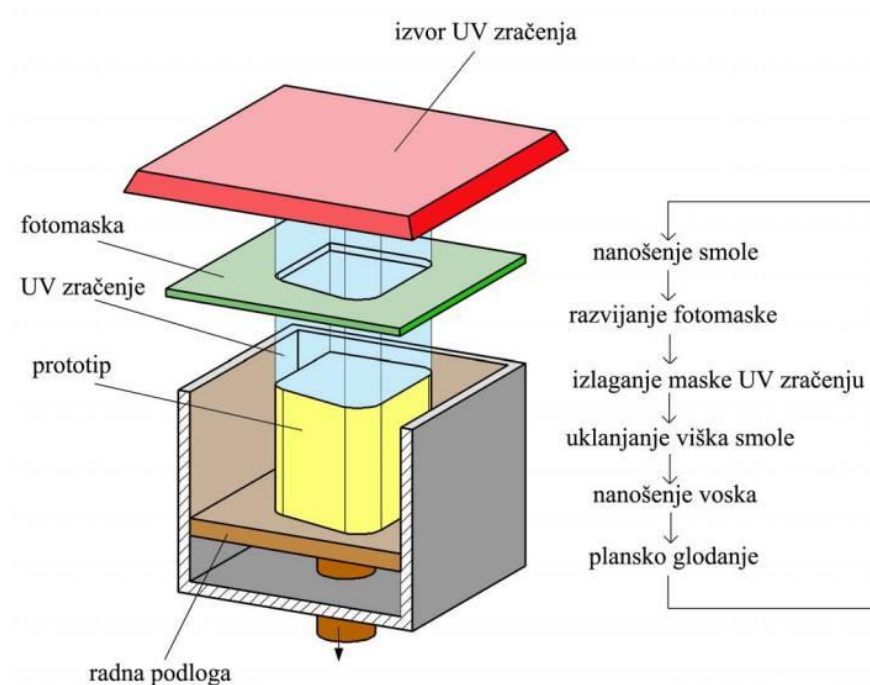
Prednosti: [7]

- Postupak visoke proizvodnosti
- Složenost oblika prototipa ne utječe na vrijeme izrade
- Slabije izrađene slojeve može se potpuno ukloniti glodanjem
- Mogu se izrađivati prototipovi s pokretnim dijelovima
- Može se izrađivati više dijelova odjednom

Nedostaci: [7]

- Potrebna naknadna obrada za uklanjanje voska
- Fotopolimeri imaju ograničena mehanička i toplinska svojstva
- Razvijanje otrovnih plinova
- Rad u mračnoj komori

SGC postupak sa svom opremom je prikazan na slici 3.11.



Slika 3.11. SGC postupak [7]

Primjeri prototipova dobiveni SGC postupkom prikazani su na slici 3.12.



Slika 3.12. Primjeri prototipova dobiveni SGC-om [7]

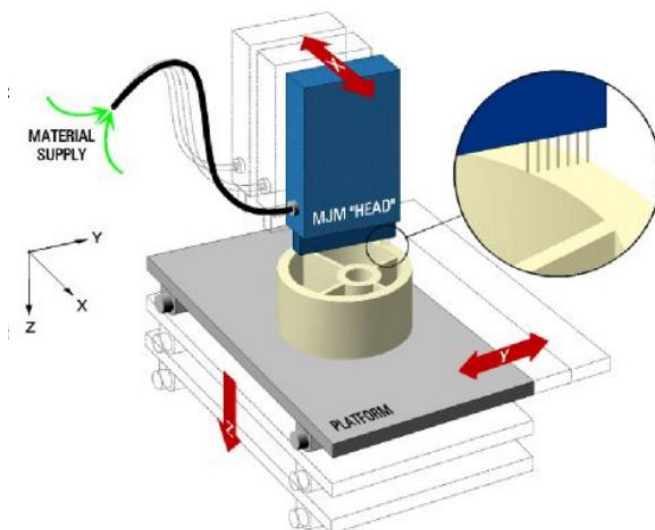
4. 3D TISKANJE- PRINTANJE (E. 3D PRINTING)- 3DP

3D tiskanje je proces izrade trodimenzionalnih čvrstih proizvoda iz digitalne datoteke koristeći materijale kao što su plastika, keramika i metal. Proces tiskanja uključuje izgradnju objekta sloj po sloj. Proces je vrlo fleksibilan jer kada se model pomoću 3D sustava za modeliranje napravi na računalu jedino što je dalje potrebno je povezati računalo sa 3D printerom i tiskanje može započeti. Za 3D tiskanje se kaže da bi u skorijoj budućnosti moglo učiniti za proizvodnju ono što su računala i internet već učinili za stvaranje, obradu i pohranu podataka.

3D tiskanje se naziva tako zbog sličnosti s inkjet tiskanjem. U 3D tiskanju se umjesto tinte izbacuje vezivo ili lijepilo. Kako se vezivo i prah nanose u slojevima, tvorevina se izrađuje sloj po sloj. Radna podloga je smještena na visini potrebnoj da se sloj praha stavi na podlogu do željene debljine. Sloj praha selektivno se skenira s glavom pisača koja oslobađa kapljevito vezivo i uzrokuje da slojevi prijanjaju jedni uz druge. Radna podloga se snizuje do sloja debljine koji dopušta novom sloju praha da se nataloži. Novi sloj se skenira, prilagođuje obliku sljedećeg gornjeg presjeka i prijanja na prethodni sloj. Nakon izrade tvorevina se ostavlja neko vrijeme u komori s prahom da se postigne potrebna čvrstoća, zatim se vadi van i pomoću zraka se odstranjuje višak praha. Naknadni proces tempiranja i infiltriranja voska, epoksida ili cijanoakrilata se primjenjuje da bi tvorevina očvrstnula. [12]

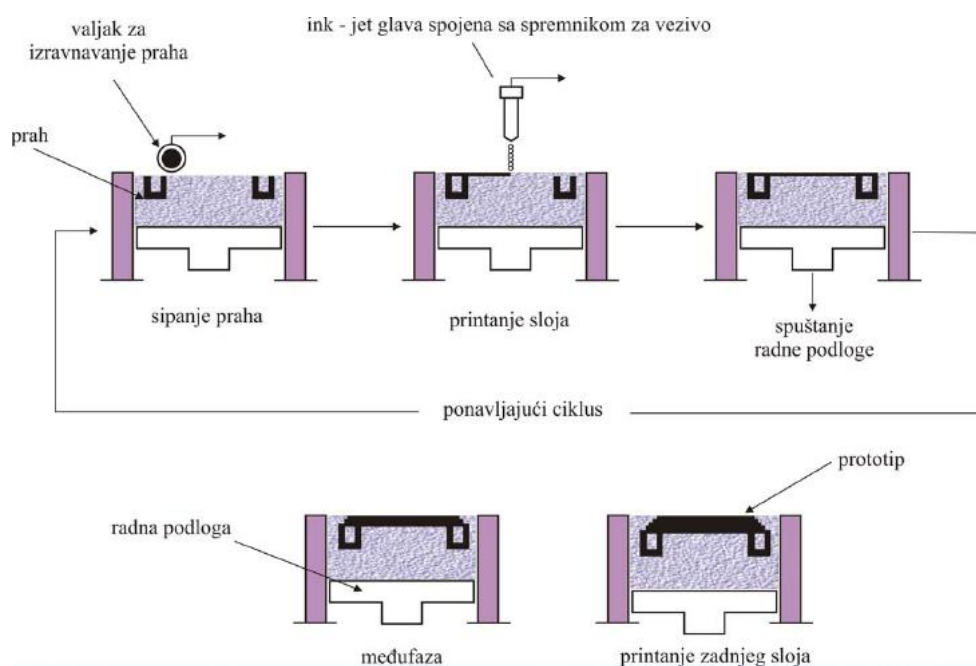
Rezultat postupka su tvorevine s gotovo potpunom gustoćom koje se mogu naknadno obrađivati ili polirati jer nakon tiskanja tvorevine imaju visoku hrapavost. Dobivene tvorevine su vrlo precizno izrađene s vrlo dobrim dimenzijskim tolerancijama. Manji problemi koji se pojavljuju su ograničenost izmjera tvorevine te ograničena brzina izrade.

Postupak 3D tiskanja prikazan je na slici 4.1.



Slika 4.1. 3D tiskanje [7]

Faze postupka 3D tiskanja prikazane su na slici 4.2.



Slika 4.2. Faze 3D tiskanja [9]

4.1. Materijali

Materijali koji se primjenjuju u postupku 3D tiskanja: [10]

- Kompoziti s metalnom matricom- imaju vrlo dobra mehanička svojstva i niska im je nabavna cijena, primjenjuju se za izradu konstrukcijskih tvorevina
- Nikal- izvrsna kemijska postojanost, primjenjuje se pri višim temperaturama
- Epoksid- vrlo dobra čvrstoća, dimenzijska točnost, iznimna postojanost utjecaju vlage te izvrsna toplinska postojanost
- Poliuretan visoke čvrstoće i savitljivosti- postojan na udarna opterećenja
- Kompozitni materijali- primjenjuju se za tvorevine sa sitnim detaljima, mogućnost tiskanja u različitim bojama, materijal se sastoji od polimera sa nekoliko dodataka koji povisuju kvalitetu završne površine, razlučivost, žilavost i čvrstoću tvorevine
- Materijali za fino lijevanje- primjena za proizvodnju tvorevina koja se mogu umakati u vosak, materijal se sastoji od smjese celuloze, posebnih vlakana i drugih dodataka koji omogućuju točnost dimenzija tvorevine
- Materijal za izravno lijevanje- upotreba za izradu pješčanih kalupa za neželjene materijale, te kalupa u koji se može izravno lijevati metalni materijal, što je brže i jeftinije u odnosu na klasične postupke lijevanja metala, taj materijal je smjesa pijeska, gipsa i drugih dodataka koji zajedno rezultiraju kalupima visoke čvrstoće sa dobrom završnom površinom
- Elastomerni materijal- omogućava izradu elastičnih dijelova tvorevine, materijal se sastoji od smjese celuloze, specijalnih vlakana i drugih dodataka

4.2. Karakteristike 3D tiskanja

3D tiskanjem se mogu uspješno proizvoditi prototipovi, tvorevine, kalupi i alati vrlo složenih oblika. Prilikom izrade kalupa i alata od metalnih prahova postižu se značajne uštede vremena izrade i troškova skupe naknadne obrade. [10]

Tehnička svojstva tvorevina koje se izrađuju 3D tiskanjem prikazana su u tablici 4.1.

Tablica 4.1. Tehnička svojstva tvorevina [7]

Masa, kg	0,1-10
Maksimalne dimenzije, mm	10-250
Debljina presjeka, mm	1,2-100
Promjer rupe, mm	0,4-20
Minimalni polumjer zakrivljenosti, mm	0,4-1
Tolerancije, mm	0,3-2
Hrapavost, μm	75-100

Prednosti: [7]

- 3DP postupkom se mogu jednako uspješno izrađivati prototipovi, funkcionalni dijelovi i alati
- Uglavnom neotrovni materijali
- Dobre dimenzijske tolerancije
- Vrlo fleksibilan postupak izrade
- Visoka preciznost izrade
- Mogućnost izrade vrlo tankih slojeva
- Visoka brzina rada stroja
- Mogućnost tiskanja u boji

Nedostaci: [7]

- Ograničene dimenzije izratka
- Ograničen broj primjenjivih materijala
- Ograničena brzina izrade
- Dodatna strojna obrada zbog visoke hrapavosti
- Kod velikih dimenzija lošija točnost u odnosu na druge postupke
- Potrebno čišćenje

Značajna prednost 3D tiskanja je mogućnost izrade prototipova u boji. Slično kao i kod 2D tiskanja računalo pretvara RGB boje (crvena, zelena, plava- e. Red, green i blue) u CMYK boje (e. cyan, magenta, yellow i black). Primjenjujući te četiri tinte, uređaj kombinira nekoliko točaka u svaki tiskani pixel za izradu izgleda tisuću boja. [10]

Primjeri prototipova s kombinacijom više boja prikazani su na slici 4.3.



Slika 4.3. Primjeri prototipova s kombinacijom više boja[12]

4.3. Dijagram toka procesa 3D tiskanja

Proizvodni proces trodimenzionalnog printanja obuhvaća razradu idejnog rješenja, konstrukciju CAD modela, pripremu 3D printera za tiskanje, izradu proizvoda 3D tiskanjem, završnu obradu te pakiranje i otprema kupcu. 3D tiskanje je vrlo fleksibilan postupak izrade tvorevina jer je proces 3D tiskanja vrlo jednostavan i kupac vrlo lako može dobiti zahtijevanu tvorevinu.

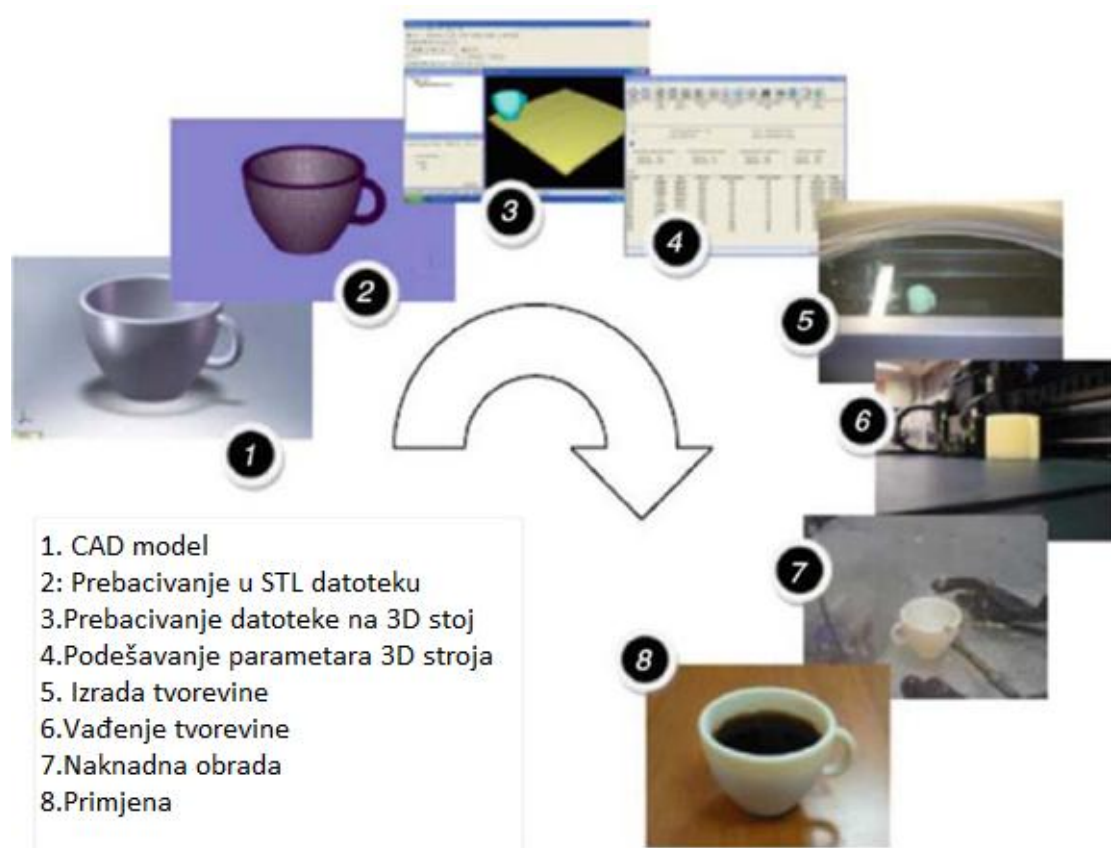
Bez obzira na koji način pristupamo korištenju 3D printera, cjelokupni proces je uglavnom isti. U svojoj knjizi „Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing“ Ian Gibson, Davis W. Rosen i Brent Srucker su formirali 8 koraka dijagrama toka. [15]

Faze procesa 3D tiskanja su: [15]

1. Izrada CAD modela
2. Pretvorba CAD modela u STL datoteku
3. Prebacivanje STL datoteke na stroj za 3D tiskanje
4. Podešavanje parametara stroja
5. Izrada slojeva odnosno tvorevine
6. Vađenje tvorevine
7. Čišćenje i završna obrada, ako je potrebna
8. Primjena

STL je najčešće upotrebljavana datoteka 3D modela čija se površina sastoji od mnogo trokuta. Svaki trokut ima unutarnju i vanjsku stranu koja se još naziva normalom. Kod dobro formirane STL datoteke, sve normale su okrenute prema van i zajedno čine kontinuiranu površinu bez otvora. STL datoteka je kompatibilna s mnogo različitih programa za 3D modeliranje. [16]

Dijagram toka procesa prikazan je na slici 4.4



Slika 4.4. Dijagram toka procesa [9]

1. Izrada CAD modela [15]

- Potrebno je izraditi 3D model s pomoću programa za 3D modeliranje (CAD)
- Program može dati neki savjet kakav strukturni integritet možemo očekivati u gotovom proizvodu
- Program koristi znanstvene podatke o pojedinim materijalima i ukazuje kako će se objekt ponašati u određenim uvjetima

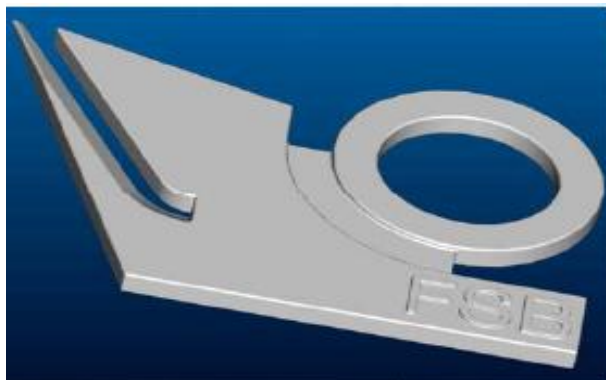
2. Pretvorba CAD modela u STL datoteku [15]

- Pretvara CAD crtež u STL format
- STL je skraćenica za tringulizacijsku datoteku
- Većina 3D pisača koriste STL format

3. Prebacivanje STL datoteke na stoj za 3D tiskanje [15]
 - Korisnik kopira STL datoteku na računalo s kojim upravlja 3D printer
 - Korisnik tada određuje veličinu i orijentaciju za ispis
 - Postupak je sličan postupku za 2D printanje
4. Podešavanje parametara stroja [15]
 - Svaki stroj ima svoje zahtjeve kako se pripremiti za novi ispis
 - Uključuje punjenje polimera, veziva i drugih materijala koji će se koristiti
 - Također uključuje i postavljanje podloge koja služi kao temelj
5. Izrada slojeva odnosno tvorevine [15]
 - Pušta se da stroj radi svoj posao, proces gradnje je automatski
 - Svaki sloj je obično debljine oko 0.1 mm, iako može biti puno tanji ili deblji
 - Ovisno o veličini tvorevine, stroja i materijala koji se koristi, postupak može trajati nekoliko sati ili čak nekoliko dana
 - Potrebno je povremeno provjeravati stroj da bi bili sigurni da radi bez greške
6. Vađenje tvorevine [15]
 - Ispisana tvorevina (ili više njih) se vadi iz stroja
 - Treba biti oprezan pri rukovanju s njom te se pridržavati svih mjera opreza
 - Potrebna zaštitna oprema kako bi se zaštitili od vrućih površina ili otrovnih kemikalija
7. Čišćenje i završna obrada [15]
 - Mnogi 3D printeri će zahtijevati neki oblik naknadne obrade kao što je četkanje ili ispiranje tvorevine da bi se riješili preostalog praha
 - Treba biti oprezan sa završnom obradom jer neki materijali zahtijevaju dosta vremena da bi očvrsnuli pa s njima treba postupati s oprezom da ne bi pukli ili se raspali
 - Toplinska i kemijska obrada, sterilizacija, obrada odvajanjem čestica
8. Primjena [15]
 - Isprintana tvorevina je spremna za korištenje

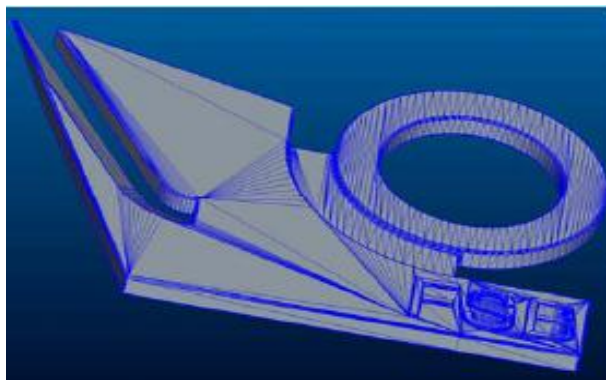
4.3.1. Slikoviti prikaz faza slojevite proizvodnje

1. Definicija CAD modela je prikazana na slici 4.5.



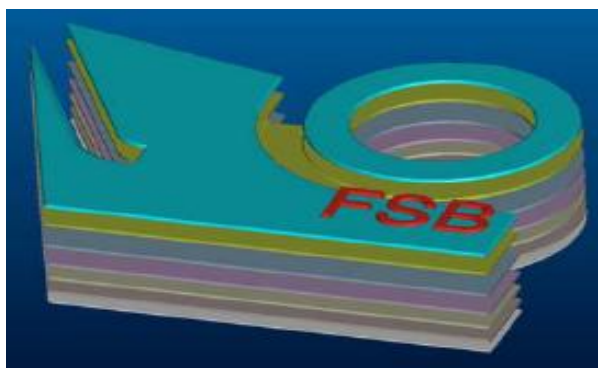
Slika 4.5. CAD model [17]

2. Generiranje STL datoteke je prikazano na slici 4.6.



Slika 4.6. STL model [17]

3. Rezanje STL modela u slojeve prikazano je na slici 4.7.



Slika 4.7. Rezanje STL modela [17]

4. Izrada tvorevine sloj po sloj prikazana je na slici 4.8. Tvorevina se sastoji od 8 slojeva.



Slika 4.8. Izrada tvorevine sloj po sloj [17]

5. Gotov proizvod

Tvorevina je nakon završetka izrade pažljivo izvađena iz printera kako ne bi došlo do ozljeda. Uslijedilo je čišćenje i završna obrada kako bi se riješili preostalog praha koji je ostao na rubovima i na površini tvorevine. Nakon završne obrade tvorevina je spremna za korištenje i postupak slojevite faze proizvodnje završava.

Gotov proizvod koji je spreman za korištenje prikazan je na slici 4.9.



Slika 4.9. Gotov proizvod spreman za korištenje [18]

5. EKSPERIMENTALNI DIO

Proces izrade kreće od razrade idejnog rješenja. Došlo se do ideje da bi električna gitara izrađena 3D tiskanjem bila produktivnija od klasično izrađene gitare. Tu se naravno treba voditi računa od kojeg će se materijala gitara raditi. Gitara će imati taknu stijenku pa je poželjno da je materijal čvršći. Nakon što se odlučilo što će se printati, potrebno je gitaru nacrtati pomoću sustava za 3D modeliranje. Gitara se konstruira pomoću programa Catia V5R20. Nakon što su se napravila ova dva koraka, dalje se sve prenosi na printer koji treba isprintati zadani proizvod. Nakon printanja u većini slučajeva je potrebna naknadna obrada te nakon što se to obavi, gitara će biti spremna za korištenje. Tu proces 3D tiskanja završava i dalje se proces prenosi na poduzeće koje mora vidjeti dali gitara zadovoljava uvjete koje su kupci tražili, te se odlučuje dali će se proizvoditi veća količina gitara. U cijelom tom procesu treba voditi računa da postupak bude funkcionalan i da su gubitci minimalni. To će poduzeće regulirati pomoću već razrađene proizvodne strategije.

5.1. 3D printer Connex 350

3D printer koji omogućava printanje proizvoda s različitim materijalima naziva se Connex 350. Connex 350 stvara fantastične prototipove koji su nevjerovatno slični gotovim proizvodima. Daje nam mogućnost printanja čak 14 materijalnih svojstava istovremeno u jednom dijelu, kako bi se uklonilo vrijeme potrebno za sastavljanje sklopa. [19]

Karakteristike stroja su da pruža izvrsne slojeve, visoke rezolucije za ispis složenih geometrija, glatkih površina i tankih stijenki. Dimenzije koje Connex 350 podržava su 342 x 342 x 200 mm. [19]

Connex 350 omogućuje stimulaciju različitih mehaničkih i fizikalnih svojstava za materijale od gume do krutine, transparentnih do neprozirnih te standardnog ABS razreda.[19]

Bazni materijali uključuju: [19]

- Transparentni materijali- za oblik ispitivanja detaljnih transparentnih dijelova i simulacije transparentnih termoplastika kao što je PMMA
- Gumirani materijali- prikladne za niz primjena kao što su protuklizne gume
- Neprozirni materijali- u raznim bojama uključujući bijelu, sivu, plavu i crnu
- Polipropilen –PP

3D printer Connex 350 prikazan je na slici 5.1.



Slika 5.1. Connex 350 [19]

Da bi se moglo printati treba se koristiti „Object Studio“ program. On olakšava izraditi precizan 3D model. Sustav automatski pretvara STL datoteku iz bilo kojeg 3D CAD programa u 3D slojeve spremne za printanje. Vrlo lako se može urediti podloga, dodijeliti materijal, upravljati funkcijama i obavljati redoviti sustav održavanja. [19]

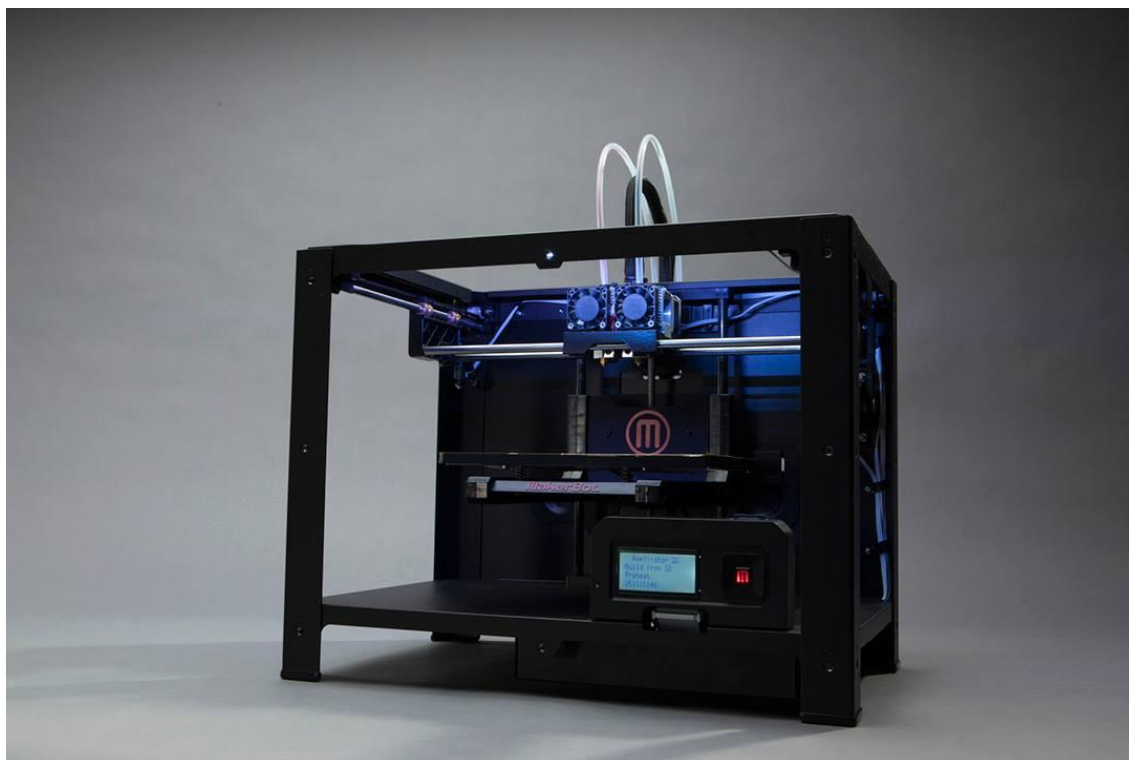
Značajke „Object Studio“ : [19]

- Jednostavno postavljanje podloge
- Automatsko generiranje podrške
- „On-the-fly“ rezanje u slojeve pa tisak može odmah početi
- Moguće umrežavanje

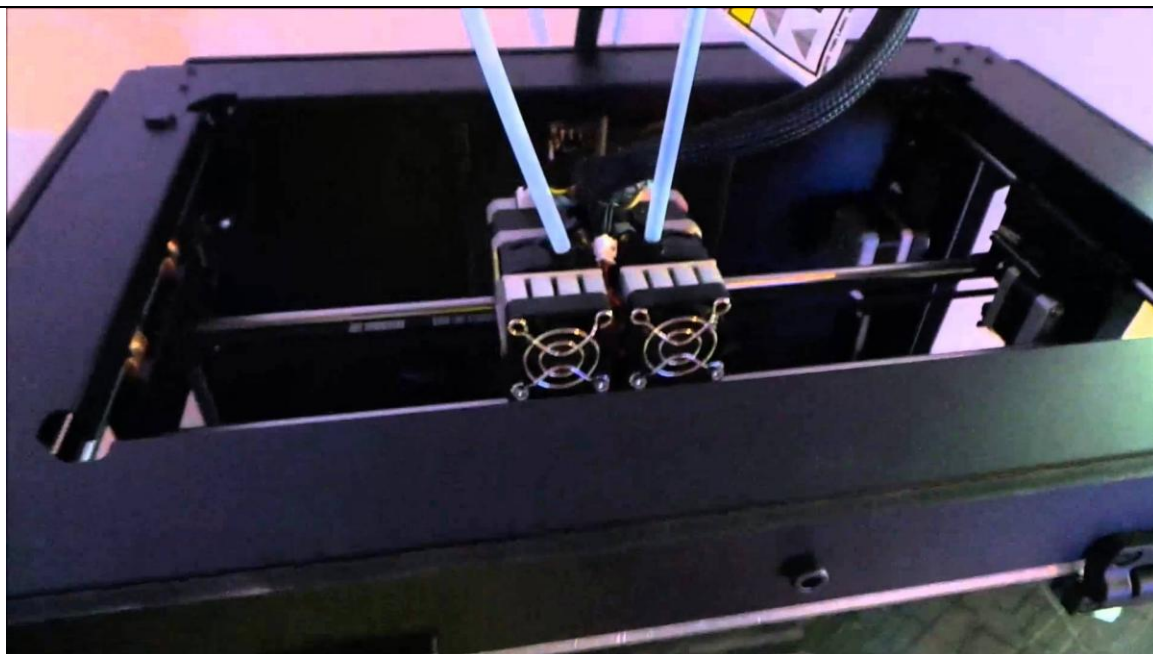
5.2. MakerBot Replicator 2X

Za printanje gitare koristiti će se MakerBot Replicator 2X. To je eksperimentalni 3D pisač optimiziran za rad a ABS-om. Moguća je izrada visokokvalitetnih 3D modela, različitim načinom i brzinom ispisa, maksimalnog volumena 25 x 16 x 15 cm. Replicator 2X ima dvostruku glavu ekstrudera tako da je moguće tiskati tvorevinu u dvije različite boje istovremeno. Žica materijala ima promjer 1,75 mm, a mlaznica ekstrudera 0,4 mm. [16]

MakerBot Replicator je prikazan na slici 5.2. , dok je dvostruka glava ekstrudera prikazana na slici 5.3.



Slika 5.2. MakerBot Replicator 2X

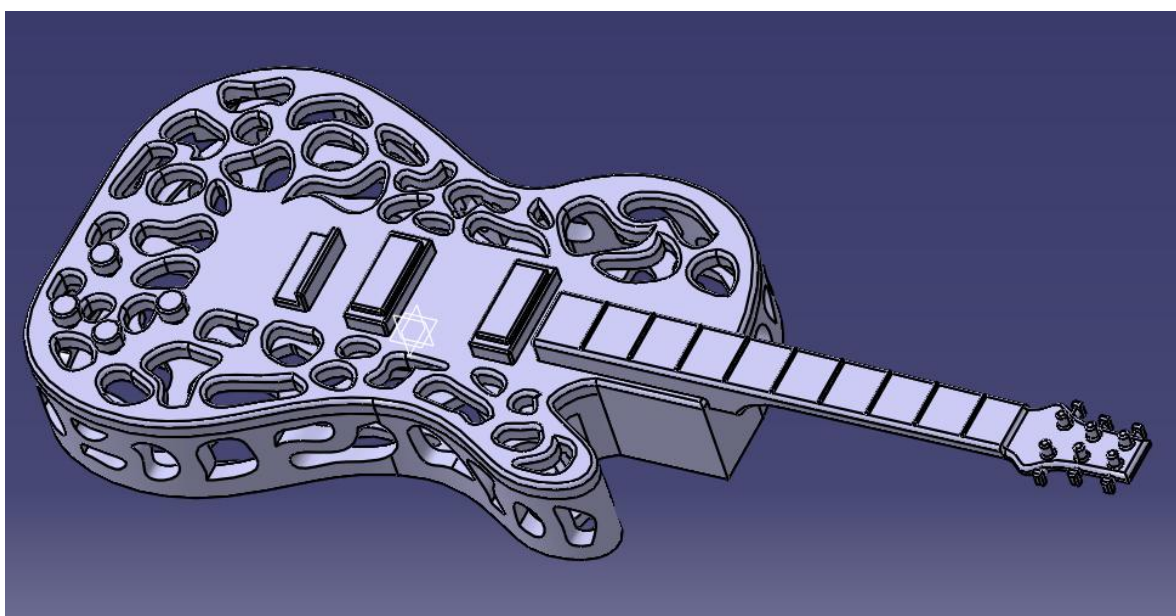


Slika 5.3. Dvostruka glava ekstrudera

5.3. Postupak 3D printanja

Nakon što se razradila ideja te se odlučilo za gitaru, potrebno ju je nacrtati u sustavu za 3D modeliranje. Za njeno modeliranje koristiti će se program Catia V5R20.

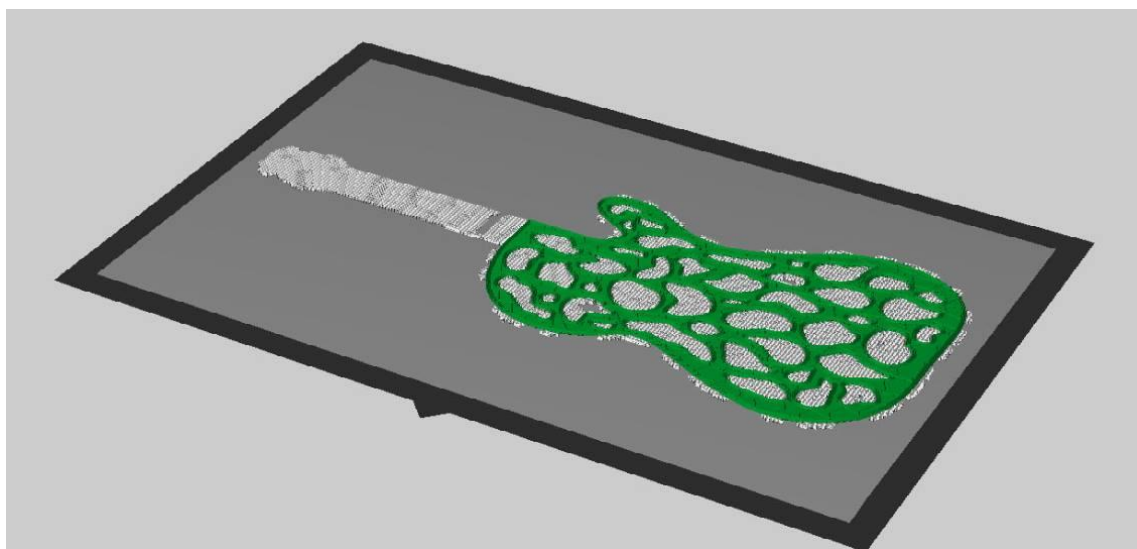
Gitara izmodelirana u 3D programu prikazana je na slici 5.4.



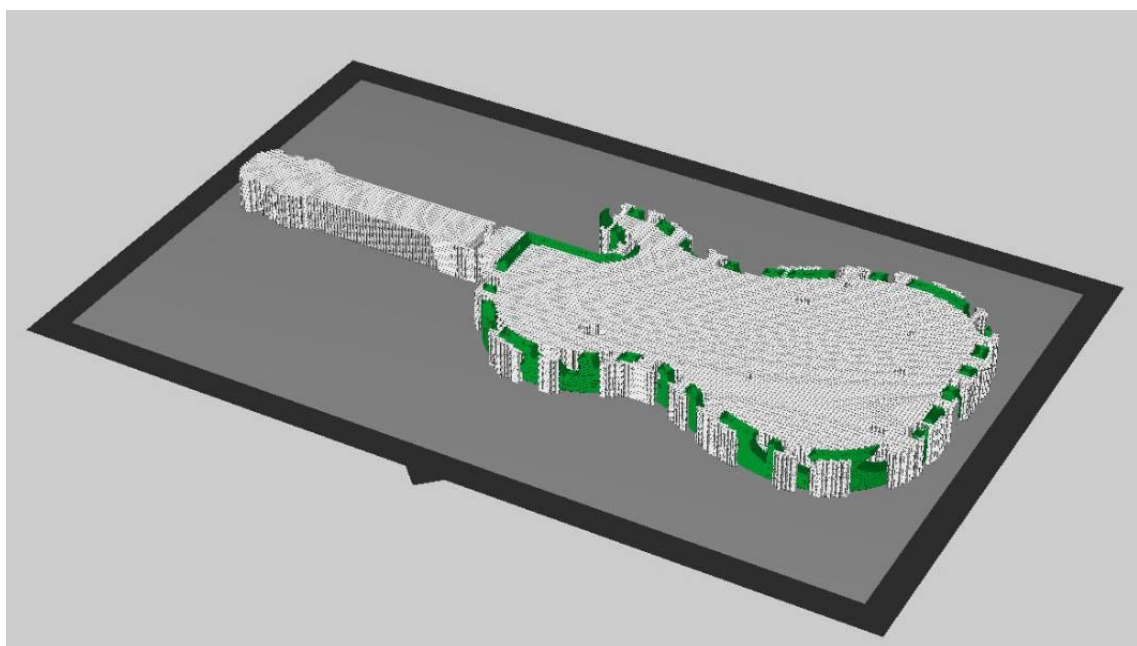
Slika 5.4. 3D model gitare

Nakon što se napravio 3D model gitare, vrijeme je za generiranje STL datoteke. Korisnik kopira STL datoteku na računalo s kojim upravlja 3D printer. Određena je veličina i orijentacija za ispis. Kako svaki stroj ima svoje zahtjeve kako se pripremiti za novi ispis, potrebno je podesiti parametre da bi se moglo započeti sa tiskanjem. STL model se reže u slojeve kako bi se vidjelo kako će teći proces tiskanja.

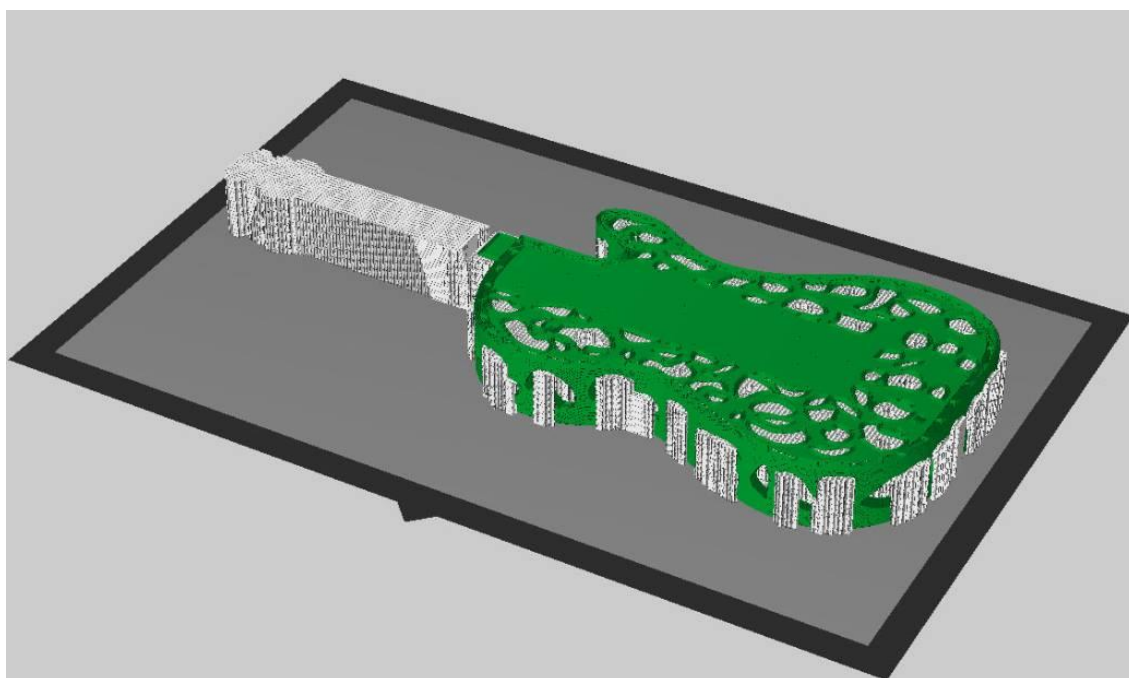
Slojevi modela prikazani su na slikama 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 i 5.9.



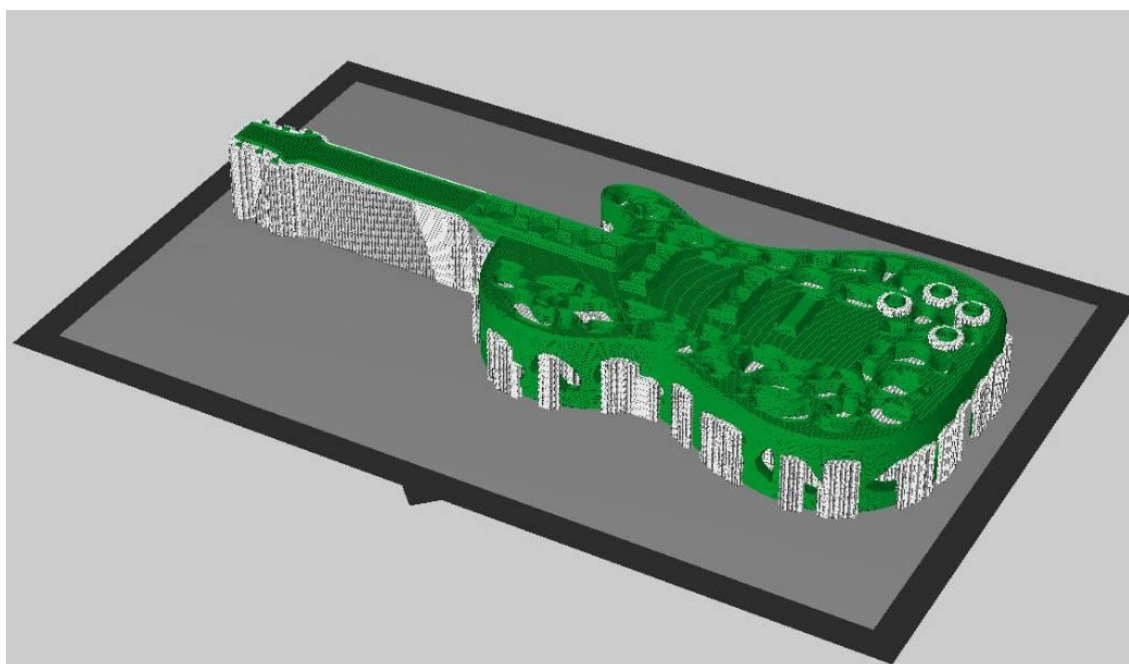
Slika 5.5. Početni sloj modela



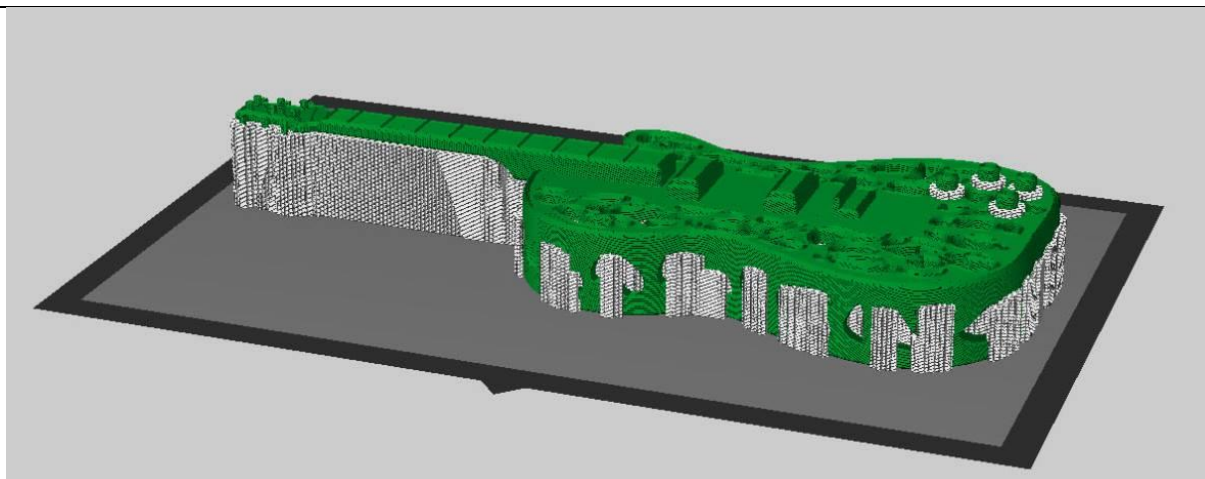
Slika 5.6. Sloj 1 modela



Slika 5.7. Sloj 2 modela



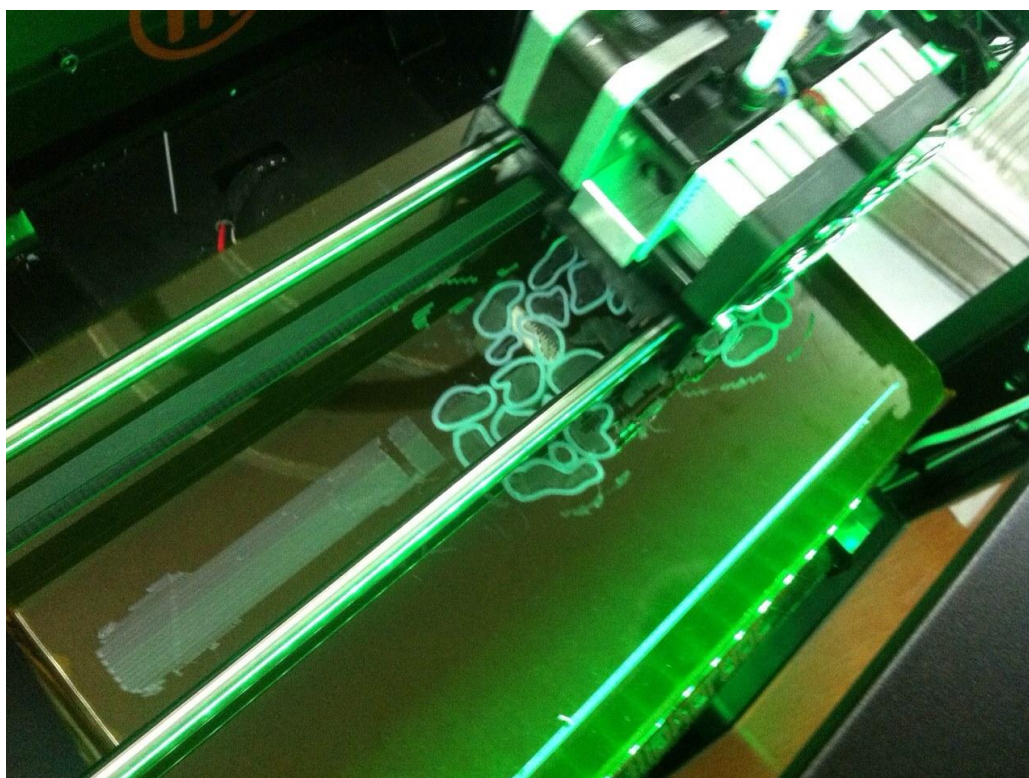
Slika 5.8. Sloj 3 modela



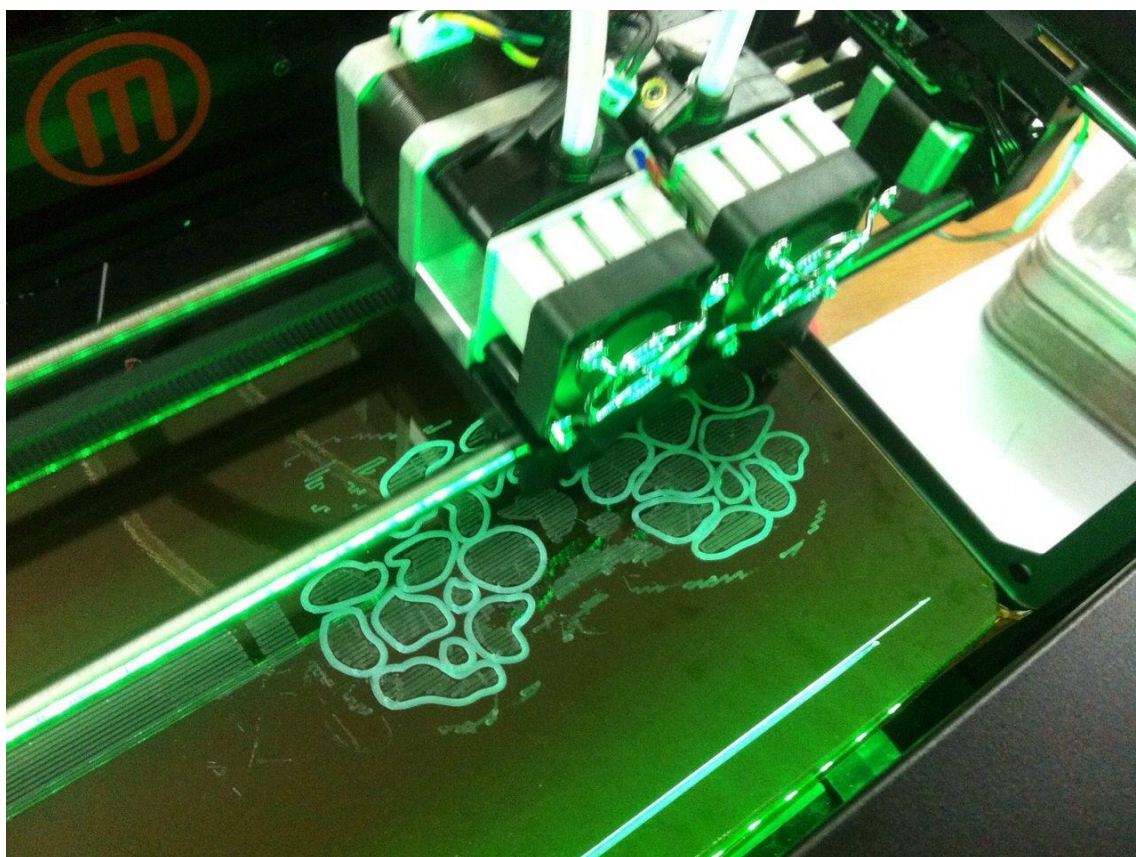
5.9. Završni sloj modela

Nakon što se pregledalo kako će teći izrada sloj po sloj, stroj se pušta da radi svoj posao. Proces gradnje je automatski. Za izradu gitare je potrebno 12h i 46m, a količina materijala koja će se potrošiti iznosi 137,58 g. Oba ekstrudera zagrijavaju materijal na 230 °C, dok je platforma zagrijana na 112°C. Stroj je potrebno povremeno provjeravati da bi bili sigurni da radi bez greške.

Proces izrade gitare prikazan je na slikama 5.10 i 5.11



Slika 5.10. Proces izrade 1



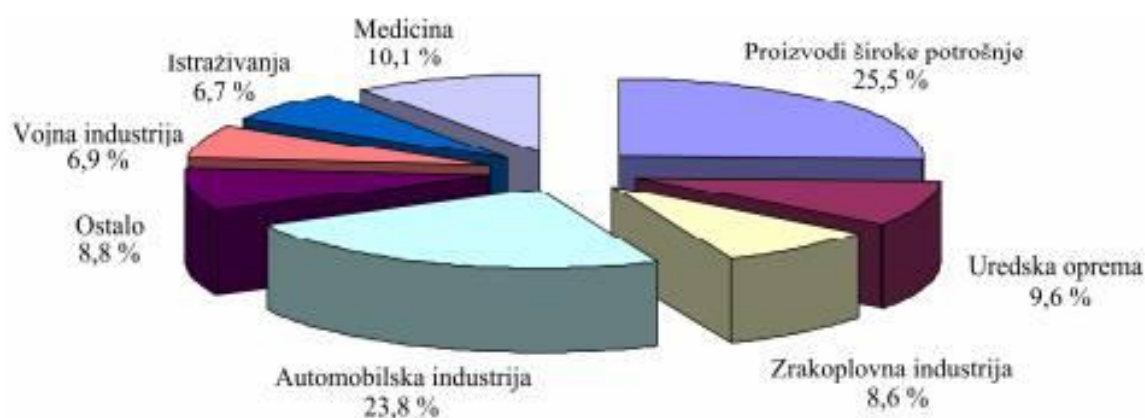
Slika 5.11. Proces izrade 2

Nakon što je stroj obavio svoj posao, došlo je vrijeme za vađenje gitare. Treba biti oprezan pri rukovanju s gotovom gitarom kako bi se zaštitili od vrućih površina. Isprintana gitara je spremna za korištenje. Dalje se sve prenosi na poduzeće kojem je cilj maksimalno smanjenje svih vrsta gubitaka te se želi postići maksimalna produktivnost. Vrijeme potrebno za uvođenje proizvoda na tržište je ključni čimbenik za ocjenu uspješnosti gitare. Dakle ocjene uspješnosti proizvoda na tržištu je zapravo na poduzeću, a suvremene tehnologije omogućavaju da se proizvod u što kraćem vremenu napravi te da se poprave potencijalne greške u proizvodnji. Dakle najvažnije stavke u cijelom procesu su postizanje maksimalne funkcionalnosti postupka, a da su pritom gubici minimalni.

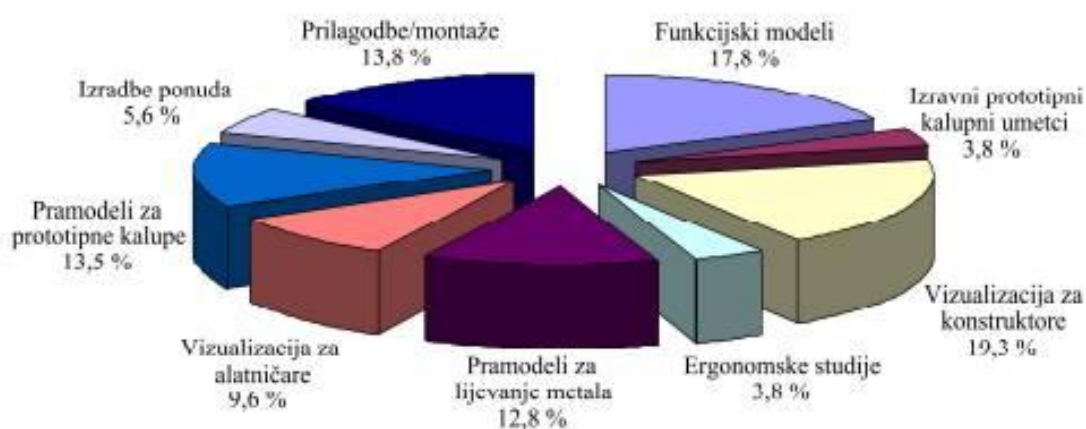
6. BUDUĆNOST 3D TISKANJA

Ako se odlučimo za pretraživanje interneta na temu 3D tiskanja, primjetiti ćemo da njegova upotreba raste eksponencijalno. Jedan od razloga za ovaj rast je da se proizvođači sve više oslanjaju na 3D ispis kako bi napravili prototipove i dijelove za velike industrije. Uzmimo za primjer automobilsku industriju koja koristi 3D tehnologiju već nekoliko godina za ispis novih auto dijelova kako bi mogli proučavati dizajn. [15]

Najčešća područja primjene prototipova prikazana su slikom 6.1., dok je prikaz strukture primjene prototipova pri razvoju i proizvodnji tvorevina dan na slici 6.2.



Slika 6.1. Područja primjene prototipova [14]



Slika 6.2. Raščlamba primjene prototipova pri razvoju i proizvodnji tvorevina [14]

Glavna prednost 3D tiskanja je njegova brzina i jednostavnost, ali i mogućnost izrade predmeta od kombinacije različitih materijala, bez potrebe za spajanjem. Iako u oblikovanju nema ograničenja, granice postavljaju dostupni materijali s kojima se predmeti izrađuju. S obzirom na mogućnosti 3D pisač je relativno niska investicija u odnosu na klasične metode proizvodnje (npr onih koje zahtijevaju izradu kalupa, koji u startu košta više, a može se iskoristiti za proizvodnju samo jedne vrste proizvoda). Danas to vrijedi primarno kada se radi o proizvodnji manjih serija, ali kako 3D pisači postaju brži, prednost će se vidjeti i kod većih proizvodnji. 3D ispis je vrlo fleksibilan i izuzetno prikladan kada se izrađuju personalizirani predmeti, jer omogućava laganu i brzu prilagodbu- dizajn se mijenja na računalu, pisač proizvodi po novom dizajnu. [20]

Svi se slažu kako će 3D tehnologija promijeniti svijet oko nas. Već se sad pokazala korisnom u različitim industrijama, a s razvojem 3D printera i različitih materijala za printanje, možemo zaključiti kako će ona biti još dostupnija. Pojavu tehnologija 3D tiskanja su već mnogi proglasili trećom industrijskom revolucijom, te tehnologijama koje će zasigurno obilježiti 21. Stoljeće. Mali i srednji poduzetnici koji žele biti inovativni, konkurentni i fleksibilni definitivno će morati u nekom trenutku primijeniti 3D tiskanje u svom poslovnom procesu. Pojava tzv. niskobudžetnih printera danas ih je načinila dostupnima gotovo svakoj tvrtki ili pojedincu. Poduzetnici koji će htjeti iskoristiti prednosti 3D tiskanja definitivno podižu svoje poslovanje na jednu višu razinu. Moći će iskoristiti svoju inovativnost u razvoju i proizvodnji novih proizvoda te će moći svoje proizvode prilagoditi željama kupaca, a time dati dodanu vrijednost proizvodu, što naravno povlači i višu cijenu. Primjenom 3D tiskanja moći će se bitno skratiti vrijeme razvoja i proizvodnje novih proizvoda. Na temelju 3D printova budućih proizvoda moći će se kvalitetnije analizirati budući proizvod te izbjeći potencijalne greške na proizvodima koje, primjerice samo na temelju 3D računalnog modela, ne bi mogli uočiti. To naravno štedi i vrijeme i novac. [20]

Tehnologija 3D tiskanja je sve popularnija i u stalnom razvoju i postala je pristupačnim načinom kako izraditi prototipove i gotove proizvode. U bliskoj budućnosti, djeca bi mogla koristiti 3D tiskanje i graditi minijature replike nekih građevina ili igračaka. [15]

6.1.Primjena u medicini

Jedan od razloga zašto je 3D tiskanje u stalnom porastu je taj što su inovativni profesionalci izvan velike industrijske proizvodnje pronašli način kako ga koristiti u svim svojim poljima proizvodnje. Uzmimo za primjer firmu „Bespoke Prosthetics“ koja se nalazi u San Franciscu, Kalifornija te koristi 3D tiskanje za stvaranje jedinstvenih protetskih pokrivala za udove. Također eksperimentiraju sa 3D tiskom kako bi izradili cijele udove koji su mnogo jeftiniji od konvencionalnih proteza. Isto tako, u centru medicine „Walter Reed Army“ koriste 3D ispis kako bi proizveli modele koje kirurzi mogu koristiti kao vodič za rekonstruktivne operacije lica. [15]

Kako se 3D tiskanje već počelo upotrebljavati u medicini, već je napravljeno nekoliko operacijskih zahvata koji su spasili ljudske živote. Uzeti ćemo za primjer malenog dječaka kojem su liječnici operacijskim zahvatom ugradili umetak za dušnik. Dijete se rodilo sa greškom u ravoju hrskavice dušnika, te je zbog toga kod dječaka često dolazilo do kolapsa dišnih puteva, a ponekad bi mu prestalo raditi i srce. Liječnici su morali djelovati brzo te su se odlučili za operaciju iako takva nikada nije bila odrađena. Sve je prošlo u najboljem redu te je dječak nakon operacije mogao nastaviti normalno živjeti.

Umetak za dušnik koji je ugrađen dječaku je prikazan na slici 6.3.



Slika 6.3. Umetak za dušnik [21]

Jedan od vodećih istraživača, Dr. Stuart Williams sa kardiovaskularnog instituta inovacija predviđa da će se kroz 10 godina pomoću 3D tiska moći napraviti cijelo srce iz pacijentovih vlastitih stanica. Ako se to potvrdi istinitim potencijalno se može spasiti tisuće života i uštedjeti milijune dolara s dugoročnim ciljem da jednog dana više neće biti potrebne liste čekanja za transplantaciju organa. [22]

6.2.Primjena u zrakoplovnoj industriji

Inženjeri u zrakoplovnoj industriji uvode 3D tiskanje za poboljšanje nekih velikih proizvoda. Industrija već koristi brzu proizvodnju prototipova kako bi testirali i poboljšali svoje dizajne, kao i da se pokaže koliko dobro rade svoj posao. Istraživačka tvrtka EADS ima još veće ambicije za 3D ispis: proizvodnja dijelova za zrakoplove, uključujući i cijelo krilo velikog aviona. Znanstvenici iz EADS-a to vide kao zelene tehnologije, vjerujući da će 3D tiskana krila smanjiti težinu aviona i na taj način, smanjiti potrošnju goriva. To bi moglo smanjiti emisije ugljičnog dioksida što bi donjelo novčane uštede zrakoplovnoj industriji. [15]

3D tiskanje je u ovom trenutku u velikoj količini zastupljeno u zrakoplovnoj industriji, ali ima još puno mjesta za napredak. Za primjer ćemo uzeti avion koji je obavio let sa 3D tiskanim dijelovima. Radi se od kompaniji Bae (British Aerospace) koja je upotrijebila tehnologiju 3D printanja za izradu nekih dijelova za svoje avione Tornado GR4. Kompanija je objavila da je dotični avion uspješno obavio let sa printanim dijelovima. Radi se o zaštitnom poklopcu pilotske kabine, uvodnicima zraka za motore te nekim unutrašnjim dijelovima. Prema navodima Bae neki dijelovi su koštali oko £100 što je na kraju dovelo do uštede od £300 000. Na duže staze ovo bi značilo potencijalnu uštedu od £1.2 milijuna do 2017 godine. [23]

Iako je ovo prvi potvrđeni slučaj da je borbeni avion poletio sa dijelovima izrađenim 3D tiskanjem treba ostati realan u procjeni mogućnosti tehnologije 3D tiskanja. Ogroman potencijal ove tehnologije još treba dostići svoj vrhunac u pogledu upotrebe. [23]

Borbeni avion Tornado GR4, kompanije Bae u kojeg su ugrađeni isprintani dijelovi prikazan je na slici 6.4.



Slika 6.4. Borbeni avion – Tornado GR4 [23]

6.3.Primjena u automobilskoj industriji

Automobilska industrija je najveći usvojitelj tehnologije 3D tiskanja te je jedna od glavnih pokretača njegovog rasta i razvoja zadnjih 30-ak godina. Prema novom izvješću, automobilski sektor će i dalje voditi u usvajanju 3D tiska i njegove primjene za sljedećih 5 godina, dosegnuvši 1.1 milijarde dolara u smislu globalnog prometa izravno povezanog s 3D tiskanjem. [24]

Naglašava se da se automobilska industrija pokušava prebaciti iz upotrebe 3D tiskanja sa pojedinačnog i malog broja prototipova do serijske proizvodnje gotovih dijelova. Izvještaji Scotta Dunhama govore da nekoliko velikih proizvođača aditivno proizvode čak 100.000 dijelova godišnje, te da ovi lideri vuku ostatak industrije za njima. U novije doba proizvođači automobila, kao što su Ferrari i Lamborghini, povećavaju usvajanje tehnologije 3D tiskanja. [24]

Sa uključivanjem velikih automobilskih proizvođača podiže se standard u pogledu materijala i učinkovitosti proizvodnje. Takav pristup će natjerati sve više i više proizvođača da uvedu 3D tiskanje u svoja poduzeća.

Iako se upotreba 3D tiskanja u automobilskoj industriji uglavnom bazira na prototipovima, ali ti prototipovi se pretvaraju u funkcionalne prototipove koji se mogu koristiti u ispitnim motorima i konceptnim automobilima. Ovakve vrste dijelova ne samo da imaju visoku vrijednost nego i služe za dokazivanje da je aditivnoj proizvodnji mjesto u automobilskoj industriji. [25]

Iako je 3D tiskanje u automobilskoj industriji u stalnom porastu, 2014 godina je bila po nečemu posebna. Naime, prvi put je isprintan cijeli auto pomoću tehnologije 3D tiskanja

Prvi isprintani auto Mini Strati prikazan je na slici 6.5.



Slika 6.5. Mini Strati [26]

6.4. Raznolika primjena

3D tiskanje također ima neke zanimljive estetske zahtjeve. Dizajneri i umjetnici ga koriste da bi istaknuli kreativnost u umjetnosti, modi i namještaju. Grafičar Torolf Sauermann je stvorio šarene geometrijske skulpture pomoću 3D tiska. Tvrtka „Freedom of creation“ koja se nalazi u Nizozemskoj, prodaje 3D tiskane proizvode od sinteriranog poliamida, kao što je rasvjeta i odjeća dizajnera. Tvrtka također ima niz korporativnih klijenata koji koriste njihov dizajn i usluge ispisa. Neke od njih su: Philips, Samsung, Nike, Ascis i Hyundai. [15]

3D tiskanje je u velikom opsegu zastupljeno i u proizvodnji igračaka. ABS plastika je jeftina, neotrovna i izdržljiva, te se kao takva čini prihvatljiva za izradu igračaka. Ako bi se ostvarile procjene da bi se kroz 10-ak godina u kućanstvima mogao naći 3D printer, vrlo bi se jednostavno mogle izrađivati igračke za djecu po njihovim potrebama i željama.

Primjer igračke izrađene 3D tiskanjem prikazana je na slici 6.6.



Slika 6.6. Igračka izrađena 3D tiskanjem

Sa sljedećim primjerom ćemo vidjeti koliko je tehnologija 3D tiskanja zaista napredovala. Kineska tvrtka je koristila 3D printer kako bi stvorili zgradu sa 5 katova, koristeći građevinski otpad. Za ispis jednog kata te zgrade bio je potreban jedan dan, te još 5 dana kako bi se sve sastavilo. Koristili su masivni 150 metara dugačak i 6 metara visok pisač. Koristili su reciklirani građevinski otpad kao materijal te također „tintu“ koja sadrže staklena vlakna, čelik, cement i posebne dodatke. [27]

Procjenjuje se da bi tehnologija 3D tiskanja mogla uštedjeti između 30 i 60% građevinskih materijala čiji bi troškovi bili smanjeni za 50-80%. Tvrtka je također rekla da se vrijeme proizvodnje može skratiti za 50-70%.

Zgrada koja je izgrađena 3D tiskanje prikazana je na slici 6.7.



Slika 6.7. Zgrada izgrađena 3D tiskanjem

6.5. Gartner

3D ispis se ravija vrlo brzo, iako su mnoge tehnologije još 5 do 10 godina daleko od glavne struje usvajanja. Danas oko 40 proizvođača prodaju 3D printere koji se najčešće koriste u poslovnim tvrtkama, te preko 200 proizvođača širom svijeta koji se razvijaju i prodaju 3D pisače, po cijeni od samo nekoliko stotina dolara. Međutim, čak i ova cijena je previsoka za redovite potrošače u ovom trenutku, unatoč širokoj svijesti o toj tehnologiji i značajnom interesu medija. [28]

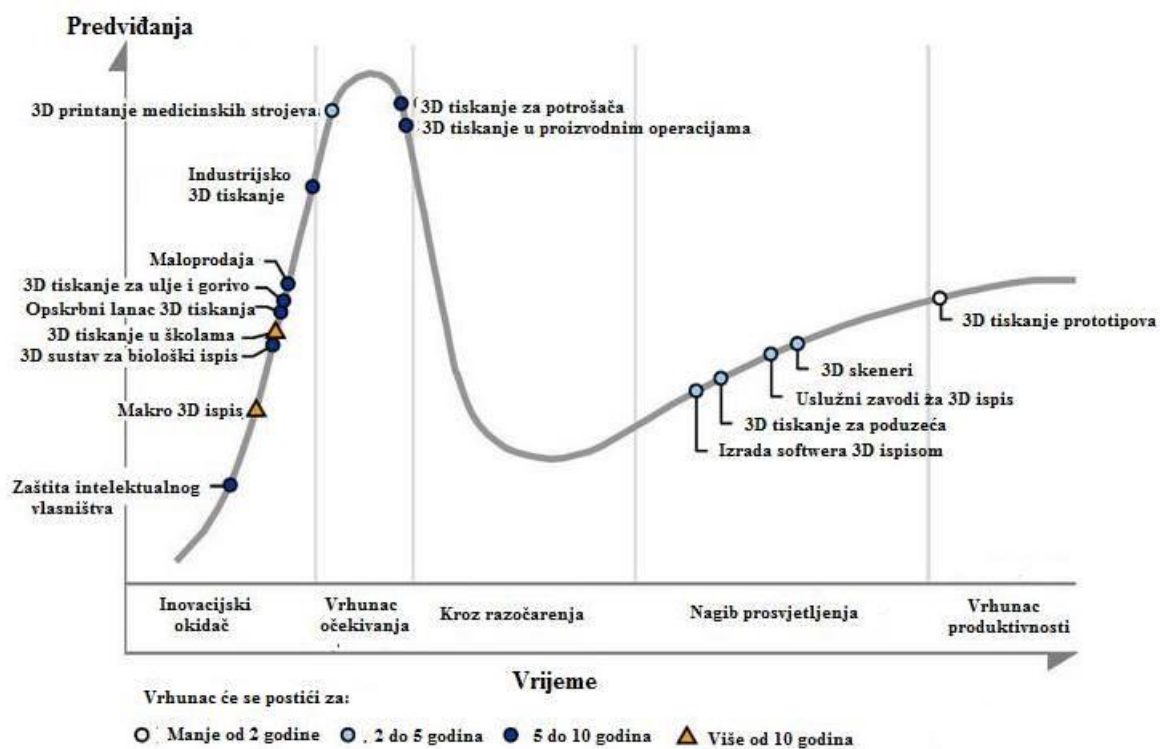
Na temelju razgovora o 3D tiskanju s organizacijama od IT tvrtki do krajnih korisnika, vladinih agencija, obrazovnih institucija i investicijskih društava, Gartner je identificirao dvije teme.

Prvo, tržište 3D tiskanja je vrlo različito od potrošača na tržištu. Istina je da u ovoj ranoj fazi postoje neke sličnosti između njih jer organizacije počinju upotrebljavati potrošačke uređaje, kako bi saznali više o potencijalnim prednostima 3D tiskanja uz minimalni rizik i minimalna ulaganja. U osnovi, ta dva tržišta imaju različite zahtjeve i namjene te se moraju procjenjivati odvojeno. [28]

Drugo, 3D tiskanje nije jedna tehnologija već sedam različitih. Sedam različitih tehnologija, svaka ima svoje prednosti i mane, a pisači rade s različitim veličinama izgradnje te različitim materijalima. To znači da organizacija mora imati krajnji proizvod na umu. Prvo treba utvrditi materijale, performanse i kvalitetu zahtjevanih gotovih proizvoda, drugo odrediti najbolju tehnologiju 3D ispisa, te treće odabrati pravi 3D printer. [28]

3D tiskanje i njegove primjene se i dalje ubrzano razvijaju. Naravno, neke tehnologije sazrijevaju brže od drugih te će biti široko rasprostranjeni u samo nekoliko godina. 3D prototipovi omogućuju organizacijama da smanje ili ublaže rizike povezane s dizajnom, oblikom i funkcionalnosti proizvoda. Također se može koristiti za podršku novih proizvodnih procesa, te može smanjiti proces razvoja proizvoda. [28]

Smjer u kojem će se 3D tiskanje razvijati prema Gartneru prikazan je na slici 6.8.



Slika 6.8. Smjer razvijanja 3D tiskanja po Gartneru [28]

U dvije do pet godina pojavit će se veće usvajanje tehnologije 3D tiskanja, nastavkom korištenja softvera za stvaranje 3D proizvoda te 3D skenera. 3D tiskanje medicinskih uređaja će ponuditi uzbudljive, životno mijenjajuće pogodnosti koje će dovesti do globalne uporabe tehnologija tiska za proteze i implantante. 3D ispis velikih objekata pokazuje veliko obećanje, ali je tek započeto s tim dijelom. U međuvremenu, usvajanje nove tehnologije u srednjoškolsko i visokoškolsko obrazovanje je još uvijek skupo i teško za provesti, ali se svakako u budućnosti možemo nadati tome. [28]

7. ZAKLJUČAK

U radu su objašnjeni i opisani aditivni postupci proizvodnje te procesni pristup tim postupcima. Aditivni postupci su danas sve zastupljeniji zbog svoje jednostavnosti i brzine, a izrađuju tvorevinu izravno iz 3D modela. 3D tiskanje (3DP) je proces izrade tvorevine sloj po sloj, a umjesto tinte se izbacuje vezivo ili lijepilo. Gotove tvorevine su vrlo precizno izrađene s vrlo dobrim dimenzijskim tolerancijama. Manji problemi koji se pojavljuju su ograničenost izmjera tvorevina te ograničena brzina izrade.

Upotreba 3D tiskanja raste eksponencijalno. Glavna prednost 3D tiskanja je njegova jednostavnost, ali i mogućnost izrade predmeta od kombinacije različitih materijala, bez potrebe za spajanjem. 3D ispis je vrlo fleksibilan i izuzetno prikladan kada se izrađuju personalizirani predmeti, jer omogućava laganu i brzu prilagodbu.

Primjenom 3D tiskanja moći će se bitno skratiti vrijeme razvoja i proizvodnje novih proizvoda. Tehnologija 3D tiskanja je sve popularnija te je u stalnom ravoju i postala je pristupačnim načinom kako izraditi prototipove i gotove proizvode. Primjena 3D tiskanja je već zastupljena u gotovo svim djelatnostima, ali ima još puno mjesta za razvoj. Prema Gartneru nas očekuje veliki razvoj 3D tiskanja u sljedećih 10-ak godina te se možemo nadati da će 3D tiskanje u velikoj mjeri zamijeniti klasične tehnologije izrade dijelova i proizvoda.

8. LITERATURA

1. Prof. Dr. Sc. Nedeljko Štefanić, Osnove_menadzmenta-LEAN, 20_09_2011.
2. Prof. Dr. Sc. Nedeljko Štefanić, Lean managment, 2009.
3. Prof. Dr. Sc. Ivo Čala, Upravljanje proizvodnjom i projektima, 27_09_2010.
4. Prof. Dr. Sc. Nedeljko Štefanić, Proizvodni menadžment, 29_11_2012.
5. <https://bib.irb.hr/datoteka/448612.final.pdf>, 2009.
6. Gebhardt, A.: Understanding Additive Manufacturing, Rapid Prototyping- Rapid Tooling – Rapid Manufacturing, Carl Hanser Verlag, Munich, 2012.
7. Prof. Dr. Sc. Mladen Šercer, Prof. Dr. Sc. Bojan Jerbić, Prof. Dr. Sc. Tomislav Filetin, Brza izgradnja prototipova i alata, 2008.
8. <http://www.livescience.com/38190-stereolithography.html>
9. Ana Pilipović, Slojeviti-postupci-za-studente.pdf.
10. Pilipović, A., Utjecaj parametara izrade na svojstva polimernog prototipa, doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.
11. <http://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html>
12. http://www.cateh.eu/en/brosura/content/AdTec%20Brosura_web.pdf
13. <http://www.livescience.com/40310-laminated-object-manufacturing.html>
14. Godec, D., Utjecaj hibridnog kalupa na svojstva injekcijski prešanog plastomernog otpreska, doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.
15. <http://computer.howstuffworks.com/3-d-printing4.htm>
16. http://downloads.makerbot.com/replicator2x/MakerBot_Replicator2X_UserManual_Eng.pdf
17. Dr. Sc. Damir Godec- Brza_proizvodnja_kalupa.pdf
18. <http://www.fsb.unizg.hr/polimeri/fileopen.php?id=1023>
19. <http://www.stratasys.com/de-de/3d-printers/design-series/objet-connex350>
20. <http://www.womeninadria.com/3d-printanje-od-ideje-proizvoda-u-nekoliko-minuta/>
21. <http://www.materialise.com/cases/baby-s-life-saved-with-groundbreaking-3d-printed-device>
22. <http://www.forbes.com/sites/ptc/2014/03/31/could-3-d-printed-organs-be-the-future-of-medicine/>

- 23. http://www.chikaasistent.com/index.php?option=com_content&view=article&id=612%3Atornado-3d-print&catid=103&Itemid=473
- 24. <http://3dprintingindustry.com/2014/12/15/smarttech-report-automotive/>
- 25. <http://3dprintingindustry.com/2014/12/31/3d-printing-automotive/>
- 26. <http://3dprint.com/22534/strati-3d-print-car/>
- 27. <http://rt.com/news/224423-china-3d-printer-house/>
- 28. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2825417>